

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Povlaky pro obráběcí nástroje

Coatings for Shaping Tools

Student:

Jakub Pospíšil

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student:	Jakub Pospíšil
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Studijní obor:	2303R002 Strojírenská technologie
Téma:	Povlaky pro obráběcí nástroje Coatings for Shaping Tools

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte současné technologie povlakování nástrojů.
2. Prostudujte vlastnosti a technologie aplikace vybraných povlaků.
3. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
4. Proveďte experimentální práce a jejich vyhodnocení.
5. Zpracujte technickou zprávu včetně ekonomického zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

BURAKOWSKI, T., WIERZCHOŃ, T.: *Surface Engineering of Materials*. CRC Press LLC, 1999. 592 s. ISBN 0-8493-8225-4.
MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
PODJUKLOVÁ, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 1994. 1. vydání. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci, včetně příloh, vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2013


.....

Jakub Pospíšil

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 5. 2013



Jakub Pospíšil

Adresa trvalého pobytu autora práce: **Jakub Pospíšil**

Dolní Studénky 170

788 20 Dolní Studénky

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

POSPÍŠIL, J. *Povlaky pro obráběcí nástroje: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2013, 58 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Bakalářská práce se věnuje výběru vhodných povlaků pro obráběcí nástroje ve firmě Pramet Tools s.r.o. Teoretická část práce uvádí současné technologie povlakování obráběcích nástrojů, vlastnosti a aplikaci vybraných povlaků. Jedná se o černění, niklování a PVD povlaky. V experimentální části práce byly voleny vhodné a dostupné zkoušky pro zjištění potřebných informací o chování povlaku za různých podmínek. Výsledné naměřené hodnoty neurčily nejvhodnější povlak, přesto se momentálně doporučuje použití niklových povlaků s tím, že výzkum ve firmě Pramet Tool s.r.o. bude nadále pokračovat. Podrobný závěr se nachází v poslední kapitole této bakalářské práce.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

POSPÍŠIL, J. *Coatings for Shaping Tools: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2013, 58 p. Thesis head: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

The bachelor thesis deals with the selection of suitable coatings for shaping tools in Pramet Tools Company. The theoretical part provides the present technology coating shaping tools, properties and application of selected coatings. It is the blackening, nickel plating and PVD coatings. In the experimental part of the thesis is chosen suitable and available tests to determine the necessary information about the behavior of the coating during different conditions. Resultant measured values have not determined best coating, nevertheless it is currently recommended to use nickel coatings with the fact that research in Pramet Tool Company will continue. A detailed conclusion is in the final chapter of this bachelor thesis.

OBSAH

1	Úvod	9
2	Charakteristika společnosti	10
2.1	Historický vývoj firmy	11
2.2	Vyráběný sortiment	12
3	Barvení oceli	13
3.1	Alkalické černění	13
3.1.1	Černicí lázně	13
3.1.1.1	Výhody alkalického černění	14
3.1.1.2	Nevýhody alkalického černění	14
3.2	Černění při pokojové teplotě	15
3.2.1	Výhody černění technologií Blackfast	15
4	Elektrochemické povrchové úpravy	17
4.1	Základní principy elektrolytického vylučování kovů	17
4.2	Galvanické niklování	17
4.2.1	Druhy galvanických lázní	18
4.2.1.1	Síranové lázně	18
4.2.1.2	Chloridové lázně	18
4.2.1.3	Sulfamátové lázně	18
4.2.1.4	Lázně pro speciální účely	19
5	Chemické pokovování	20
5.1	Chemické niklování	21
5.1.1	Chemické lázně	22
5.1.2	Výhody chemického niklování oproti galvanickému niklování	23
5.1.3	Nevýhody chemického niklování oproti galvanickému niklování	23
6	Fyzikální metody nanášení povlaků ve vakuu – PVD	24
6.1	Vakuové napařování	24
6.2	Naprašování ve vakuu	25
6.3	Magnetronové naprašování	27
6.4	Iontové plátování	27
7	Zkoušené vlastnosti povlaku	28
7.1	Tloušťka povlaku	28
7.2	Adheze	28
8	Metodika experimentálních prací	30
8.1	Příprava experimentálních vzorků	30
8.2	Povlaky vzorků	31
9	Porovnání povlaků prostřednictvím zkoušek	33
9.1	Vrypová zkouška - Scratch test	33

9.1.1	Postup měření	33
9.1.2	Vyhodnocení zkoušky.....	34
9.1.3	Závěr vrypové zkoušky - Scratch test.....	38
9.2	Zkouška vpichy na Rockwellově tvrdoměru.....	38
9.2.1	Postup měření	38
9.2.2	Vyhodnocení zkoušky.....	39
9.2.3	Závěr zkoušky vpichy na Rockwellově tvrdoměru	41
9.3	Zkouška odolnosti proti opotřebení - Kalotest.....	41
9.3.1	Postup měření	42
9.3.2	Vyhodnocení zkoušky.....	42
9.3.3	Shrnutí zkoušky odolnosti proti opotřebení - Kalotest	48
10	Celkové shrnutí výsledků zkoušek	49
11	Ekonomické zhodnocení.....	50
12	Závěr	51
	Seznam použité literatury	53
	Seznam příloh.....	55

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

HRC	Tvrdost dle Rockwella [N/mm ²]
HV	Tvrdost dle Vickerse [N/mm ²]
PVD	Physical vapour depositin
Ra	Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti [μm]
Rz	Největší výška profilu [μm]
SK	Slinutý karbid
VBD	Vyměnitelné břitové destičky

1 ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je popsat možné metody povrchových úprav těles (těl) obráběcích nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami (VBD), a to konkrétně se zaměřením na tělesa vrtáků. Teoreticky porovnat vlastnosti těchto vrstev a experimentálně dokázat vhodnost vybraných povlaků, včetně odhadovaných nákladů na vybraného představitele. Na závěr navrhnout optimální řešení.

Tělesa obráběcích nástrojů (frézy, vrtáky a nože) pro vyměnitelné břitové destičky musí zajišťovat mnohonásobně větší životnost než samotné vyměnitelné břitové destičky. Z těchto těles obráběcích nástrojů patří vrtáky do nejrizikovější kategorie možného poškození. Tělesa vrtáků jsou totiž v bezprostředním kontaktu s obráběným materiálem, hlavně šroubovitě drážky vrtáku, které slouží pro odvod třísky (špon). Těmito drážkami prochází veškerý odřezávaný materiál, který vzniká při vrtání, proto jsou tato tělesa tak mechanicky opotřebována.

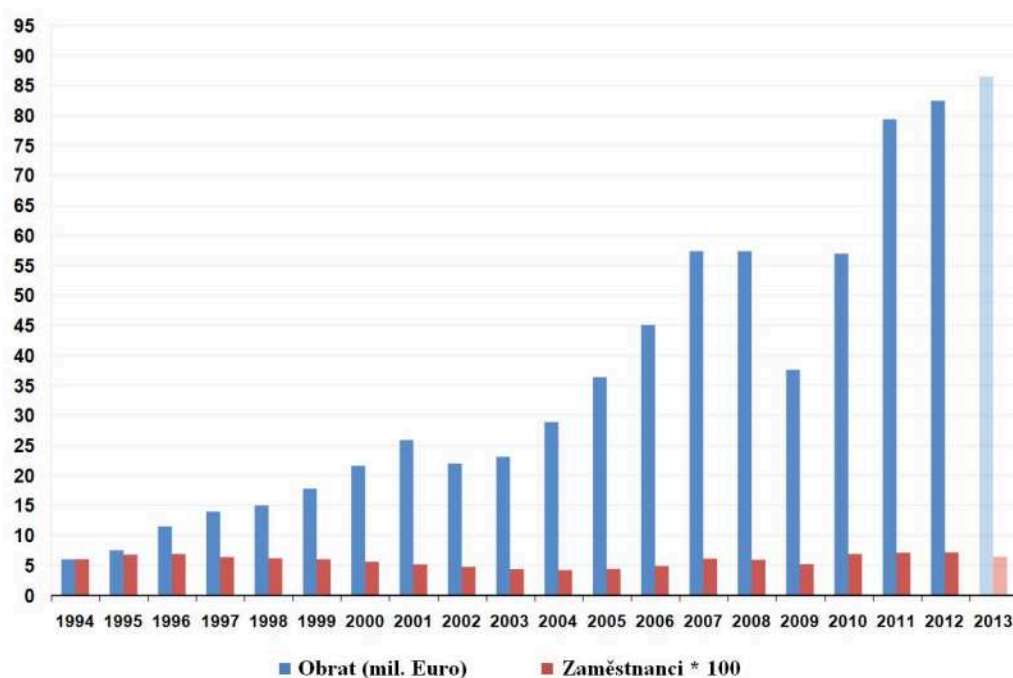
Obecně jsou tělesa obráběcích nástrojů povlakovány z důvodů výhodnějších protikorozních a otěruvzdorných vlastností a také pro lepší estetický vzhled nástroje. Hlavním kritériem pro výběr vhodného povlaku těles vrtáků jsou dobré otěruvzdorné vlastnosti, následně pak korozivzdorné a estetické vlastnosti.

V současné době jsou tělesa černěna, niklována a povlakována PVD metodou. Toto byly základní vstupní informace pro experimentální práci.

2 CHARAKTERISTIKA SPOLEČNOSTI

Jak už bylo výše zmíněno, tuto bakalářskou práci jsem vypracoval ve firmě Pramet Tools s. r. o.

Hlavní sídlo firmy a výrobní závod se nachází v Šumperku. Nachází se zde i veškerá další oddělení, včetně oddělení výzkumu a vývoje, logistiky či marketingu. Firma zaměstnává 666 zaměstnanců (k 1.1.2013). Základním jménem společnosti je 335 milionů Kč. I když jde o ryze českou společnost, kompletním vlastníkem firmy je Pramet Scandinavia, se sídlem ve Švédsku v městě Fagersta.[1]



Obr. 2.1 – Vývoj obratu a zaměstnanosti ve společnosti Pramet Tools s.r.o. [2]

Společnost Pramet Tools s.r.o. se zabývá vývojem, výrobou a prodejem nástrojů pro obrábění ze slinutého karbidu (SK). Všechny produkty jsou vyráběny v České republice. Prodávány jsou prostřednictvím sítě vlastních poboček a také v síti smluvních partnerů. Ve svém oboru patří mezi významné firmy ve střední a východní Evropě. V současnosti zaměřuje společnost své obchodní činnosti hlavně na rozvoj exportu, který má podíl více jak 60 % z celkového obratu společnosti. Dlouhodobým cílem společnosti je získat 1 % světového trhu, co by znamenalo zařazení mezi 20 největších světových firem.[1]



Obr. 2.2 - Veškeré pobočky společnosti Pramet Tools s.r.o. [2]

2.1 Historický vývoj firmy

Výroba slinutého karbidu ve společnosti Pramet Tools s.r.o. navazuje na více než šedesátiletou tradici výroby slinutého karbidu v Šumperku.[1]

Historické milníky:

1933 - Společnost Stellwag zahájila výrobu slinutých karbidů a nástrojů s přírodním diamantem

1951 - Zahájení výroby slinutého karbidu v Šumperku

1996 - Pramet začleněn do holdingu Kovohutě Břidličná, certifikace jakosti ISO 9001

1999 - Založení společnosti Pramet Tools, s.r.o. – převod SK výrobních aktiv z Pramet a.s.

2000 - Prezentace Pramet New Dimension – nové materiální, nový sortiment

2004 - Certifikace environmentálního systému ISO 14001 společností L.R.Q.A.

2005 - Certifikace integrovaného systému ISO 9001:2000 a ISO 14001:2004 (jakost, environment) společností Lloyd's Register Quality Assurance

2008 - Integrace ALG Moskva do skupiny Pramet

2010 - Zařazení mezi 100 nejvíce obdivovaných firem Czech Top 100

2011 - Rekord ve výrobě vyměnitelných břitových destiček – celkem vyrobeno 22,5 mil. destiček

2012 - Založení skupiny Pramet - Safety – Impero[1]

2.2 Vyráběný sortiment

Společnost nabízí svým zákazníkům žádané produkty z oblasti všeobecného obrábění. K dispozici jsou nástroje nejnovější generace a průběžně jsou uváděny moderní výkonné materiály a povlaky.[1]

Vyráběné produkty:

- Vyměnitelné břitové destičky (VBD) ze slinutého karbidu
- Nástroje pro soustružení s VBD
- Nástroje pro frézování s VBD
- Vrtáky s VBD
- Upínací systémy
- Monolitní frézy
- Monolitní vrtáky [2]

ŠKODA AUTO	CZ	Výroba aut	Standardní a speciální VBD pro soustružení a frézování
TRW Automotive	CZ	Automobilový průmysl - brzdy	Nástroje pro obrábění hliníku a oceli
RZD	RU	Železnice	Železniční průmysl
AUTOVAZ	RU	Výroba aut	Standardní a speciální VBD pro soustružení a frézování
FIAT	IT	Výroba aut	Standardní a speciální VBD pro soustružení a frézování
INA Kysuce	SK	Automobilový průmysl - ložiska	Polohrubování, dokončování
CELSA	PL	Těžký průmysl	Těžké hrubování
STROJÍRNY TŘINEC	CZ	Těžký průmysl, Železnice	Těžké hrubování, polohrubování, dokončování a frézování (střední)
ŽĐAS	CZ	Těžký průmysl	Těžké hrubování, polohrubování, dokončování a frézování (střední)
Vítkovice Holding	CZ	Těžký průmysl	Těžké hrubování, polohrubování, dokončování
DT VÝHYBKÁRNA A MOSTÁRNA	CZ	Železnice	Těžké hrubování, polohrubování, dokončování
SIEMENS	CZ	Elektromotory	Nástroje pro hrubování, polohrubování, dokončování a závitování

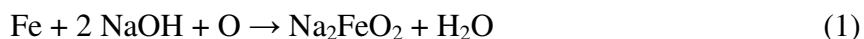
Obr. 2.3 - Hlavní zákazníci v oblasti obrábění společnosti Pramet Tools s.r.o. [2]

3 BARVENÍ OCELI

Technologie barvení oceli je jedna z nejstarších metod barvení oceli vůbec. Zakládá se na exponování povrchu oceli v chemickém roztoku s vysokou oxidační schopností. Při použití této technologie se vytváří tenké různě zabarvené povlaky, nejčastěji používané pro dekorativní účely, částečně také pro své antikorozi a otěruvzdorné vlastnosti (optické přístroje, zbraně, bižuterie). Vznikají oxidické povlaky hnědé, modré a černé barvy. Nejpoužívanější oxidický proces je černění oceli v alkalických lázních (tzv. brunýrování). [3,4]

3.1 Alkalické černění

Základním principem alkalického černění je oxidace povrchu kovu za vzniku Fe_2O_3 , potažmo směsi $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4$. Reakce se vytvoří v silně alkalickém prostředí za výskytu oxidačního činidla:



Při interakci železnatých a železitých solí, se vytváří přesycený roztok oxidu železnatoželezitého, který na povrchu kovu vyprodukuje barevný povlak. Tloušťka povlaku bývá kolem 10^{-3} mm.[3]

Perfektní a vzhledově vhodný povlak vznikne pouze na mechanicky řádně opracovaném povrchu. Povrchové vady (vrypy, poškrábání, výrazná drsnost apod.) se černěním nezakryjí, spíše se po aplikaci ještě zvýrazní. Předměty stanovené k barvení musí vykazovat kovově čistý a lesklý povrch, bez rzi, okují, mastnot a dalších nečistot, které by zapříčinily zřetelné skvrny po černění. Po úplném oplachu se vrstva zpravidla impregnuje účelnými konzervačními prostředky pro zlepšení vlastností povlaku. [3,4]

3.1.1 Černicí lázně

Veškeré alkalické lázně jsou udržovány na teplotě varu, okolo 138 – 145 °C. Černicí roztok má hustotu kolem 1,4 – 1,6 Kg/l. Regulace a obsluha lázně se zpravidla uskutečňuje automatickou kontrolou bodu varu. Koncentrace lázně a bod varu se reguluje přidáním černicí soli nebo automatickým případně ručním doléváním vody. Voda se odpařuje z důvodu vysokých provozních teplot, pára se musí odsávat. Při odpařování par se na dně vany usazují soli obsažené ve vodě, to způsobuje vyšší množství likvidovaného kalu. [5]

Při procesu černění v předchozích letech docházelo k rozstříkávání lázně, dnešní moderní produkty tento efekt velmi minimalizují. V době zakládání předmětů do černicí lázně, nastává silná exotermická reakce, při které se teplota lázně může vzrůst až o 80 °C. [5]

Příklad složení lázně:

150 g louhu sodného

4 kg dusičnanu sodného

1 kg dusitanu sodného

100 l vody

Lázeň pracuje při teplotě 130 °C a čas barvení součástek je 3 – 6 minut. [3]

3.1.1.1 Výhody alkalického černění

- Povlak na součástkách je sytě černé barvy s pohledným dekorativním vzhledem.
- Mírná oteruvzdornost a u černění korozivzdorných ocelí i přijatelná korozní odolnost.
- Alkalickým černěním se nemění rozměry součástek, díky malým tloušťkám povlaku.
- Alkalické oxidační lázně se charakterizují dlouhou životností.
- Prodejní cena alkalického černění, je zhruba desetkrát levnější než černění kyselé.
- Technologie alkalického černění se dá dobře mechanizovat, proto je vhodná k zařazení do sériové výroby. [6]

3.1.1.2 Nevýhody alkalického černění

- Maximální opatrnost pracovníků při práci, z důvodů vysokých teplot lázně.
- Doplnování lázně vodou, aby se nahradili ztráty vzniklé odpařením.
- Energetická náročnost kvůli udržování lázně na vysoké teplotě.
- Součástky a sestavy pájené cínem nebo cínovou pájkou nelze v alkalické lázni oxidovat.
- Velké díly je nutno před černěním předeheřt, aby se zabránilo snížení teploty lázně.[6]

3.2 Černění při pokojové teplotě

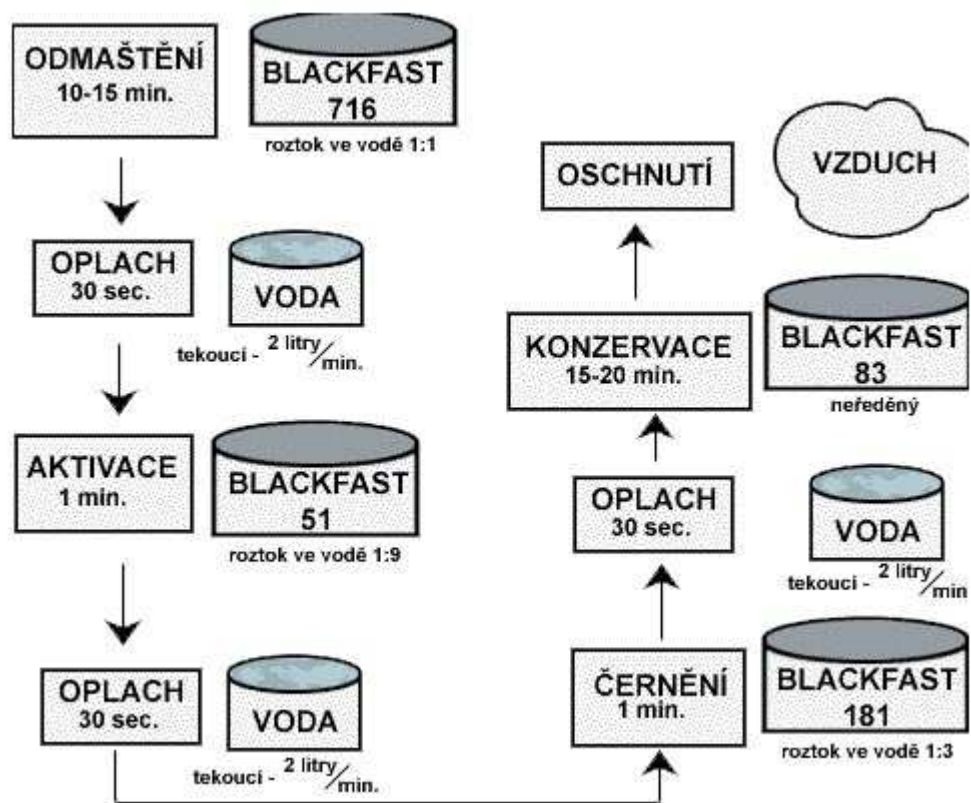
Anglická firma Blackfast Chemicals vyvinula novou technologii černění při pokojové teplotě. Tato nová technologie se jmenuje Blackfast. [7]

Technologie Blackfast byla speciálně vyvinuta pro bezpečné a spolehlivé používání ve strojírenství. Je to jednoduchá a cenově výhodná technologie pro chemické černění oceli a litiny, která nevyžaduje žádné vědomosti z chemie. Technologie Blackfast se hodí jak pro velké strojírenské podniky, které černí velké počty dílů, tak i pro menší zámečnické dílny a podniky, kde černí pouze malý počet vyrobených součástí, dle potřeby. Při používání technologie není potřeba žádného složitého zařízení a vybavení. Požadavky na prostor a obsluhu jsou minimální. Černicí linka je ihned připravena k provozu. Vše jde rychle a levně, užívání této metody je velice produktivní. [7]

Černění se provádí postupným namáčením rzi zbavených dílců do čtyř kapalin, které mají pokojovou teplotu. Mezi jednotlivými lázněmi se dílce oplachují vodou. [7]

3.2.1 Výhody černění technologií Blackfast

- Není zapotřebí drahých a náročných zařízení, stačí plastové nebo gumou potažené nádoby.
- Anulují se prostoje a výdaje spojené s ohřevem lázně.
- Velice se usnadňuje manipulace se součástkami, díky nízkým teplotám lázně
- Na povrchu a především v malých otvorech nekrystalizují žádné soli
- Velmi dobrá životnost lázně zvyšuje hospodárnost na maximum.
- Černicí kapaliny se ředí vodou v předepsaných poměrech, jsou stabilní, jejich kvalita se nemění, i když nejsou delší dobu používány.
- Po snížení vydatnosti kapalin se pouze dolíjí novou lázní.
- Jednoduchá obsluha technologie Blackfast nevyžaduje odborný personál.
- Černicí linka se může umístit na jakémkoli místě na pracovišti, nevyžaduje totiž žádné zvláštní ventilační vybavení a kontrolní prostředky.[7]



Obr. 3.1 - Schéma technologického postupu technologie Blackfast. [7]

4 ELEKTROCHEMICKÉ POVRCHOVÉ ÚPRAVY

4.1 Základní principy elektrolytického vylučování kovů

Všechny základní děje probíhající při galvanickém vylučování kovů vychází z aplikované elektrochemie. Princip elektrolytického vylučování kovů lze vysvětlit jako pochody ve vodních roztocích solí. Při rozpuštění anorganických solí ve vodě se anulují krystalová mřížka těchto rozpuštěných solí a vytváří se elektrolytická disociace. Jednoduše řečeno, vytvoří se ionty, které se začnou samovolně pohybovat.[3]



Záporné ionty, které se odpoutají elektrolytickou disociací, přenášejí nadbytečné elektrony, kladně nabití ionty mají naopak nedostatek elektronů. Elektrický náboj iontů solí rozpuštěných ve vodním roztoku dovoluje, aby tímto roztokem procházel elektrický proud. Stejnoseměrný proud můžeme do roztoku přivést použitím dvou elektrod. Jedna z elektrod má kladný náboj a nazývá se anoda, druhá elektroda má záporný náboj a té říkáme katoda. Ionty rozpuštěné soli se při spuštění stejnosměrného proudu v daném roztoku pohybují podle zákonů elektrostatické přitažlivosti. Kladně nabitá elektroda přitahuje záporně nabití ionty (anionty) a elektroda se zápornou polarizací přitahuje ionty s kladným nábojem (kationty). Kladně nabití kationty se na katodě spojují s elektrony katody, během tohoto procesu se vytváří buď elektro neutrální látka, nebo kationt nižšího mocenství (dochází k redukci kationtů). Totožný proces je, když záporně nabití anionty přenášejí své přebytečné elektrony kladně nabitě anodě, přičemž se opět vytváří elektro neutrální látka nebo iont o vyšším mocenství. Tyto děje celkově nazýváme jako elektrolýza.[3]

4.2 Galvanické niklování

Užívá se pro vytváření ochranných povlaků na oceli, mědi a jejich slitinách a také na zinku. Bez mezivrstvy se niklové povlaky využívají na ochranu chemických zařízení v alkalickém prostředí a také pro zvýšení odolnosti proti opotřebení. S mezivrstvou mědi se aplikují jako ochranné a dekorativní povlaky. Nejčastěji se niklové povlaky produkují v systému Cu – Ni – Cr, kdy se na povrchu niklu vylučuje tenká vrstva chromu, která chrání nikl před atmosférickou korozí.[3]

Tloušťka niklové vrstvy v systému Cu – Ni – Cr je závislá na agresivitě prostředí, ve kterém bude chráněný výrobek vystaven. Zpravidla tato tloušťka bývá 4 – 15 μm při tloušťce chromového povlaku 0,5 μm . V případě, že niklový povlak je finální ochranou, činí tloušťka na oceli 8 – 45 μm . [3]

4.2.1 Druhy galvanických lázní

Využívá se pár druhů elektrolytů. Nejstarší a nejvíce užívanou je Wattsova lázeň, jejíž primární složkou je síran nikelnatý. Dále se užívají chloridové lázně, sulfamátové a další. [3]

4.2.1.1 Síranové lázně

Nositelem kovu v těchto lázních je síran nikelnatý $\text{NiSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$. Jako vodící sůl se využívá chlorid nikelnatý NiCl_2 . Síranové lázně fungují s proudovou hustotou 2 – 5 A/dm^2 při teplotě 50 – 70 $^{\circ}\text{C}$. Vylučují jemnozrnné matné povlaky s malým vnitřním pnutím. S přidavkem leskutvorných složek lze vylučovat lesklé povlaky. V případě přidavku mechanických nevodivých složek lze ve vhodném aparátu vylučovat ze primárního elektrolytu i různé speciální povlaky jako např. nikl – seal nebo niklové vrstvy se zabudovaným korundovým nebo diamantovým práškem apod. [3]

4.2.1.2 Chloridové lázně

Nositelem kovu je chlorid nikelnatý. Tyto lázně pracují s vyššími proudovými hustotami (přítomné chloridy zabraňují pasivaci anod). Nevýhodou je křehkost vyloučeného povlaku, silná agresivita lázně. Pracuje se při zvýšené teplotě 50 – 70 $^{\circ}\text{C}$ s vysokými proudovými hustotami (až 20 A/dm^2). [3]

4.2.1.3 Sulfamátové lázně

Tyto lázně na bázi kyseliny amidosulfonové obsahují vysokou koncentraci kovu, proto je možné využívat vysoké proudové hustoty až do 30 A/dm^2 . Sulfamátové lázně se hojně využívají v galvanoplastice. [3]

4.2.1.4 Lázně pro speciální účely

Nikl – seal je lázeň s přídavkem nevodivých mechanických částí, které se vylučují společně s niklem. Vytváří se povlak, který při následném chromování umožní vyloučení mikroporézního chromu. Tento systém povlaků výrazně zvyšuje korozní odolnost povrchové úpravy.[3]

Saténové niklování se používá pro dekorativní účely. Lázně pracují s obdobným systémem jako nikl – seal, ale s vyšším podílem mechanických přísad (asi 15 %). Vytvoří se matný niklový povlak saténového vzhledu.[3]

Dispersní niklové vrstvy vznikají vylučováním nekovových částic spolu s niklem a používají se ke zvýšení např. odolnosti proti opotřebení povrchu součástí. Spolu s Ni se vylučují např. karbidy, diamant, a vznikají systémy Ni – SiC, Ni – P – SiC, Ni – TiC, Ni – diamant apod. Vylučování se provádí z niklových lázní, do kterých se přidává prášek karbidu v množství 20 – 50 g/l, velikost částic 2 – 16 μm . Lázeň se musí intenzivně míchat. Tyto povlaky se mnohdy využívají u válců spalovacích motorů, kroužků, k povrchové úpravě slitin hliníku, u kterých se požaduje zvýšená odolnost proti opotřebení, vnitřních částí forem pro stříkání plastických hmot, na kovové modely ve slévárenství, vyložení mlýnů, na součásti elektromagnetických ventilů, na trysky při výrobě umělých vláken, na součásti textilních strojů apod. [3]

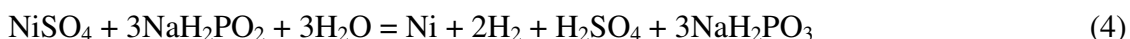
5 CHEMICKÉ POKOVOVÁNÍ

Podstatou chemického (bezproudového) pokovování je vylučování ušlechtilějšího kovu na povrch kovu, který je méně ušlechtilý vlivem rozdílu potenciálů v roztoku, nebo vyredukováním kovu z jeho soli příslušným činidlem. Pokovovací lázeň se skládá ze soli kovu, který by měl být vyloučen a z redukčního činidla, které redukuje kovovou sůl na kov. Chemicky lze vylučovat povlaky prakticky všech kovů. Výhodou chemického pokovování je to, že není potřeba složitých zařízení a vlastní práce je jednoduchá. Velkou předností je neomezená hloubková účinnost lázně, tzn. že lze pokovovat i členité předměty v dutinách jako jsou potrubí apod. Nevýhodou tohoto druhu pokovení je menší vylučovací rychlost a to, že při provozu dochází k vyčerpávání lázní. Proto je nutné lázeň regenerovat, což bývá obtížné. Chemicky lze kovové povlaky principiálně vylučovat těmito způsoby:

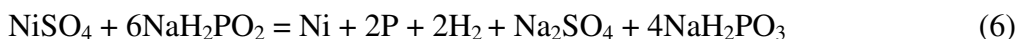
- ponorem - do roztoků kovových solí, většinou síranů, za studena i za tepla. Proces trvá zpravidla jen několik vteřin, při dlouhodobém ponoru vznikají málo přilnavé a tlusté povlaky.
- potíráním – roztok se na upravovaný předmět natírá. Je to varianta pokovování pro velmi rozměrné předměty, z důvodů vysokých nákladů za pořízování velkých van.
- vyvařováním - ponorem do vroucích roztoků kovových solí. Lázně vylučují velmi dobře přilnavé a tenké vrstvy. Nevýhodou je, že celý proces probíhá velice pomalu.
- kontaktem - pokovovaný primární kov je vodivě spojen s elektronegativním materiálem. Kontaktní kov se rozpouští a ušlechtilější kov je z roztoku vytěsňován a usazuje se na pokovovaném ponořeném předmětu. Tohoto způsobu se využívá pro kovy, které se jinými metodami špatně vylučují, také pro dosažení větších tloušťek povlaku.
- redukcí - přidáním redukčních chemikálií do roztoku kovové soli umožníme vyredukování kovu, který se pak vylučuje na kovovém nebo nekovovém předmětu. Vzniklé povlaky mají velmi dobrou přilnavost a délkou doby pokovení se volí jejich tloušťka. V závislosti na velikosti předmětu se pracuje ponorem, potíráním nebo postřikem.[4]

5.1 Chemické niklování

Počátky technologie chemického niklování se datují do druhé poloviny 19. století. První patent na tuto technologii byl přihlášen v roce 1916. Průmyslového rozšíření a využití však tato technologie zažila až po roce 1946. Chemické niklování nepatří mezi nejrozšířenější technologie. Pracuje se při teplotě okolo 90 °C a s vysokými požadavky na čistotu a přesnost při niklování. Od svého vzniku prošlo chemické niklování mnohými vývojovými stupni, ale princip zůstal a lze ho shrnout do následujících rovnic:



Obě rovnice lze shrnout do níže uvedeného tvaru:



[8]

Používané lázně pro chemické vylučování niklu jsou složitější a obsahují složky zabezpečující přísun niklu a redukčního činidla a celou řadu pro provoz nezbytných složek. Jedná se o:

- komplexační činidla
- katalyzátor
- stabilizátor
- pufrační složku
- regulátor pH
- smáčedla. [8]

Redukční činidla, které používáme jsou fosfornan sodný, borohydrid sodný nebo dimethylaminoboran. Povlak niklu není vylučován jako čistý nikl ale ve formě binární nebo ternární slitiny. Jedná se o slitiny NiP, NiB, NiCoP, NiWP, apod. Nejpoužívanější je slitina NiP a tvoří 98% chemicky vyloučených povlaků niklu. [8]

Tab. 5.1 - Rozdělení povlaků podle obsahu fosforu ve vyloučené slitině NiP. [8]

Povlak	Obsah P [%]	Podíl na trhu [%]
Nízký obsah fosforu	1 - 3	3
Nízký až střední obsah fosforu	3 - 6	12
Střední obsah fosforu	6 - 10	60
Vysoký obsah fosforu	> 10,5	25

Obsah fosforu v povlaku lze regulovat jednak vlastním složením niklovací lázně a dále podmínkami, za kterých k vylučování dochází. Obsah fosforu v povlaku má vliv na následné mechanické a chemické vlastnosti vyloučeného povlaku. Povlaky chemického niklu lze ještě tepelně ošetřit a zvýšit jejich tvrdost z 500 až 600 HV na 900 až 1 000 HV. Tyto hodnoty se již blíží tvrdosti chromového povlaku. Rovnoměrnost vylučování, která nezávisí na tvaru niklovaného předmětu, předurčuje tuto technologii tam, kde nelze použít klasické elektrolytické niklování a chromování. [8]

5.1.1 Chemické lázně

Na rozdíl od galvanických lázní není životnost chemických lázní věčná a po určité době provozu, je nutno lázeň zlikvidovat. Po snížení životnosti lázně se podstatně zvýší hustota pracovního roztoku, zpomalí rychlost vylučování a změní tlakové pnutí povlaku v tažné, proto je žádoucí provoz zastavit a lázeň nasadit novou. To celý proces povlakování zdražuje a proto většina výrobců hledá cestu jak životnost lázně prodloužit a tím snížit provozní náklady. [8]

Existuje několik doporučených metod provozování technologie chemického niklování:

- metoda „šarží“ (efektivita 30 – 40%)
- metoda „odpařování“ (efektivita 65 – 75%)
- metoda „konstantní koncentrace“ (efektivita 75 – 85 %)
- metoda „maximální“ (efektivita 85 – 95 %). [8]

5.1.2 Výhody chemického niklování oproti galvanickému niklování

- Nenáročnost celého zařízení a jednoduchost celého procesu.
- Lázně mají velkou hloubkovou účinnost, to je důležité například při pokovování různých dutin a členitých povrchů.
- Povlak má konstantní tloušťku na celém pokovovaném předmětu i při velmi složitých tvarech předmětů.
- Vyloučené povlaky mají často i výhodnější vlastnosti pro některé speciální aplikace.
- Vrstvy mají nižší pórovitost a tedy i vyšší korozní odolnost.
- Tvrdost povlaku bezproudého niklu dosahuje cca 500 HV a tepelným zpracováním je ji možno dále zvýšit. Galvanicky vyloučený nikl pouze cca 300 HV.
- Bezproudý nikl poskytuje možnost výroby širokého rozpětí tloušťek povlaků.
- Bezproudé niklové povlaky mohou dosahovat špičkovou adhesi na mnoho materiálů včetně oceli, hliníku, mědi a měděných slitin.[9]

5.1.3 Nevýhody chemického niklování oproti galvanickému niklování.

- Nižší vylučovací rychlost při povlakování.
- Životnost lázní je značně nižší, staré lázně se musí ekologicky zlikvidovat a nalít nové.[9]

6 FYZIKÁLNÍ METODY NANÁŠENÍ POVLAKŮ VE VAKUU – PVD

Hlavním podstatou fyzikálních metod nanášení povlaků ve vakuu – PVD (physical vapor deposition) je převedení pevného kovu (např. titan) do plynného stavu a jeho kondenzace na povlakovaném substrátu. Podle postupu převedení pevné komponenty do plynného stavu rozlišujeme následující metody PVD. [10]

Vakuové napařování (evaporation)

- odpařování materiálu se děje:
 - klasickým elektrickým obloukem
 - nízkonapěťovým elektrickým obloukem
 - elektronovým svazkem
 - laserem. [10]

Vakuové naprašování (sputtering)

- které se dělí na:
 - katodové
 - magnetonové. [10]

Iontové plátování (ion plating)

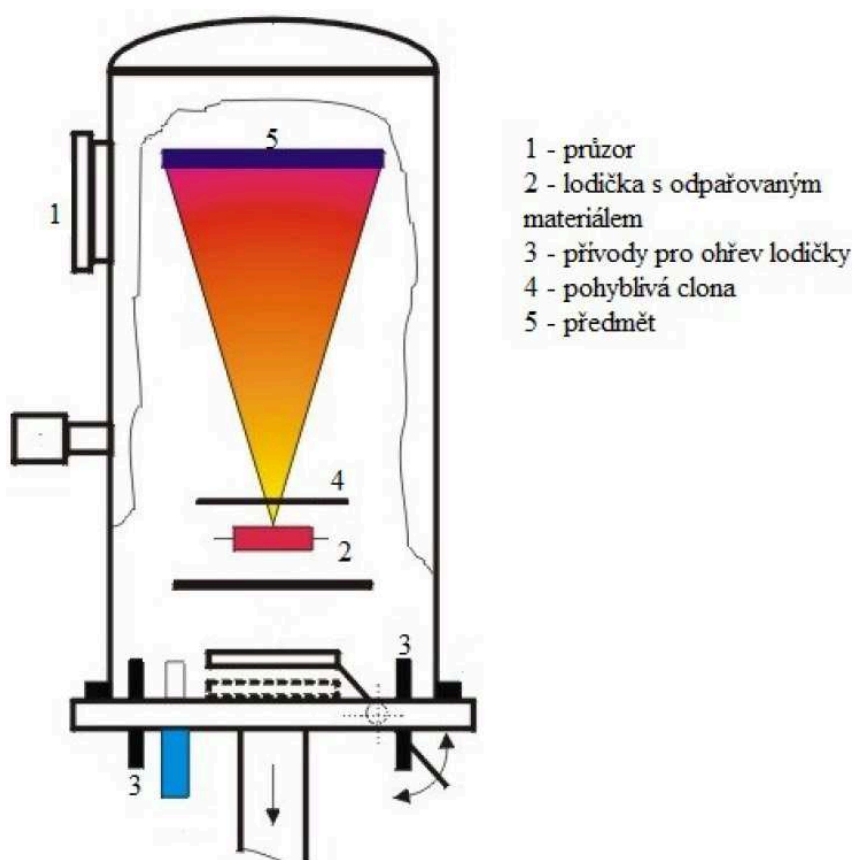
- vychází z libovolného stylu napařování či naprašování, nicméně substrát je navíc bombardován atomy s vyšší energií. Atomům deponovaného kovu lze tuhle energii dodat např. vložením pomocného napětí na substrát. [10]

6.1 Vakuové napařování

Napařování vrstev probíhá při tlaku nižším než 10^{-2} Pa, aby nedocházelo k reakci odpařené látky se zbytky vzduchu. Je založeno na odpařování materiálu při jeho ohřevu ve vakuu a na kondenzaci par odpařené látky na substrátu. Jedná se o proces

neutrálních částic. Rychlost produkce vrstvy závisí na rychlosti odpařování, tj. teplotě ohřevu odpařovaného materiálu. Přivede-li se současně do vakuové komory reaktivní plyn, hovoříme o reaktivním napařování. Atomy reaktivního plynu reagují s atomy kovu za vzniku chemické sloučeniny, která se usazuje na upravovaném povrchu. Jako reaktivní plyn může být přiváděn např. dusík. Při napařování dopadají částice kovu na povrch substrátu s energií 0,1 – 0,3 eV. [10]

Velkým přínosem metody PVD je tvorba povlaků probíhající už při teplotách 500 – 550°C i nižších. Tyhle teploty umožňují nanášení povlaků jednak přímo na ocel, neželezné kovy, sklo a další jiné materiály aniž by byli ovlivněny jejich mechanické vlastnosti. Síla povlaků obvykle nepřesahuje hodnotu 5 μm . [10]



Obr. 6.1 - Schéma procesu vakuového napařování. [11]

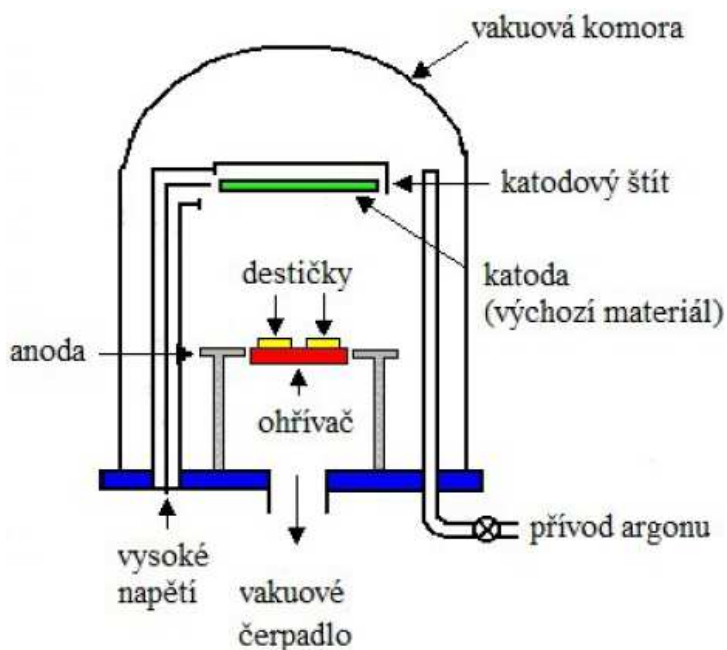
6.2 Napařování ve vakuu

Při vakuovém katodovém napařování je do komory, kde je udržován tlak 10^{-2} až 1 Pa přiveden interní plyn, např. argon, který následně ionizuje v doutnavém výboji. Pozitivní ionty zasypávají povrch kovové katody, taje tímto způsobem rozprašována a rozprašovaný kov se sráží na povrchu předmětu, na kterém vzniká povlak. Je-li současně přiváděn do

vakuové komory reaktivní plyn, hovoříme pak o reaktivním naprašování. Částice kovu dopadají na povrch substrátu s energií 5 – 10 eV. [10]

Cílem u takového postup u povlakování je zaručit dostatečnou ionizaci par kovů, reaktivního plynu s interním plynem a pravidelné rozdělení iontů v prostor u i na povrchu substrátu. Poměr iontů kovu a plynu určuje struktura frází, které vznikají na povrchu substrátu reakcí. Jako iontový zdroj se používají magnetrony, nebo nízkonapěťový oblouk, které se liší energií částic a podílem iontů.[10]

Velice často se tak připravují povlaky Ti N, je možné nicméně připravovat vícesložkové povlaky (karbonitridy, bornitridy, titankarbonitridy) odlišných kovů i povlaky s variabilním obsahem prvků nebo sloučenin v amorfním stavu. Sloučeniny vysokotavitelných kovů mají vysokou tvrdost a kvalitní ořezuvzdornost. Hlavní vlastnosti povlaku se určují podmínkami vzniku povlaku, složením, mikrostrukturou, pnutím a soudržností s podložkou. Technologické parametry mají významný vliv, za rozhodující faktory je pokládána teplota podložky, parciální tlak plynu a předpětí. Mikrostruktura povlaku v této fázi se dostala do heterogenní struktury, velké pnutí vzniká v bodě styku s podložkou i v objemu povlaku, s narůstající tloušťkou se pnutí zvětšuje. Pnutí bývají tahová i tlaková a při nevhodných podmínkách mohou dosáhnout hodnot 5 až $6 \cdot 10^3$ MPa a tím způsobit porušení povlaku nebo odtržení od substrátu. Tloušťky povlaků se pohybují do 5 μm až 7 μm . Regulovaný růst zrn, jejich velikost a pnutí ovlivňuje i texturu povlaku, která se může měnit i v tloušťce povlaku.[10]



Obr. 6.2 - Schéma procesu vakuového naprašování. [12]

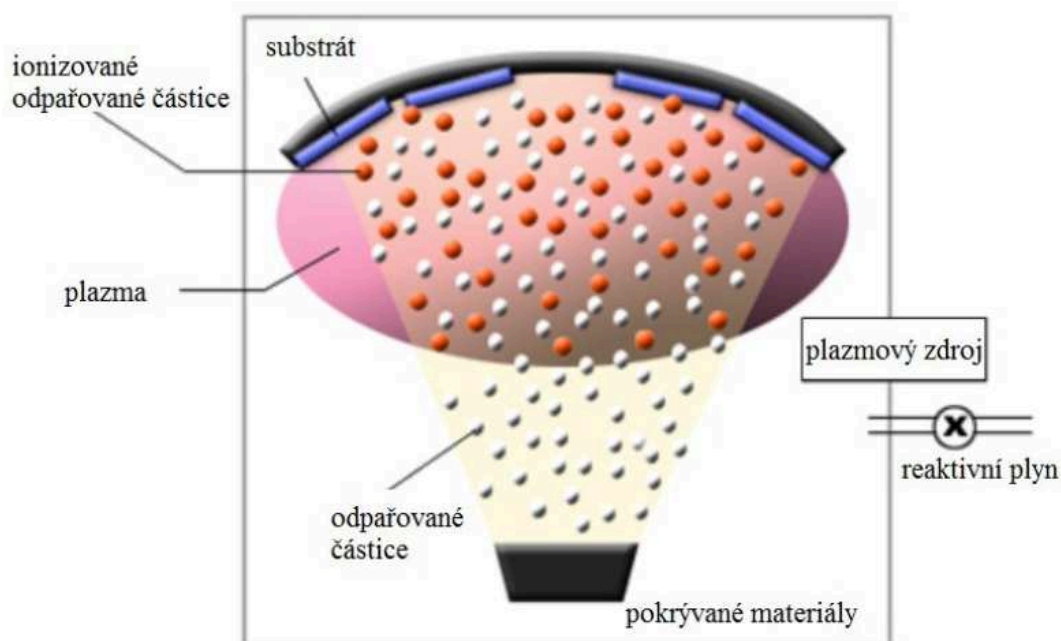
6.3 Magnetronové naprašování

Během magnetronového naprašování dochází k nárůstu počtu vyražených atomů rozprašovaného materiálu aktivací procesu katodového naprašování. Korektura spočívá v přiložení magnetického pole o intenzitě B , jejíž vektor je kolmý na vektor E intenzity elektrického pole. Elektrony emitované z katody se následně pohybují v dráhách, které jsou delší a složitější. Díky tomu ionizuje více atomů pracovního plynu, čím odprašovací působivost stoupá. Pracovní tlak uvnitř zařízení se pohybuje zpravidla kolem 1 Pa, tedy volná dráha částice je řádově 0,01 m. [10]

6.4 Iontové plátování

Při iontovém plátování se plazmatem aktivuje proces PVD, u kterého tok částic odpařených nebo i odprašených z pevného terče získává vysokou energii. [10]

Po vakuování komory se začíná vytvářet na katodě přivedeným nosným plynem doutnavý výboj, kdy následně dochází k částečné ionizaci odpařeného kovu. Přiložením vysokého záporného napětí přibližně 5 kV na povlakované předměty dochází k opětovné ionizaci atomů plynu a tím se zvýší kinetická energie iontů kovů dopadajících na upravovaný povrch objektů za současného vzniku příslušné chemické sloučeniny. Energie dopadajících částic kovu získává hodnoty až 100 – 300 eV. Výhodou této metody je vysoká rychlost růstu povlaků, pravidelnost jejich tloušťky a adheze k substrátu. [10]

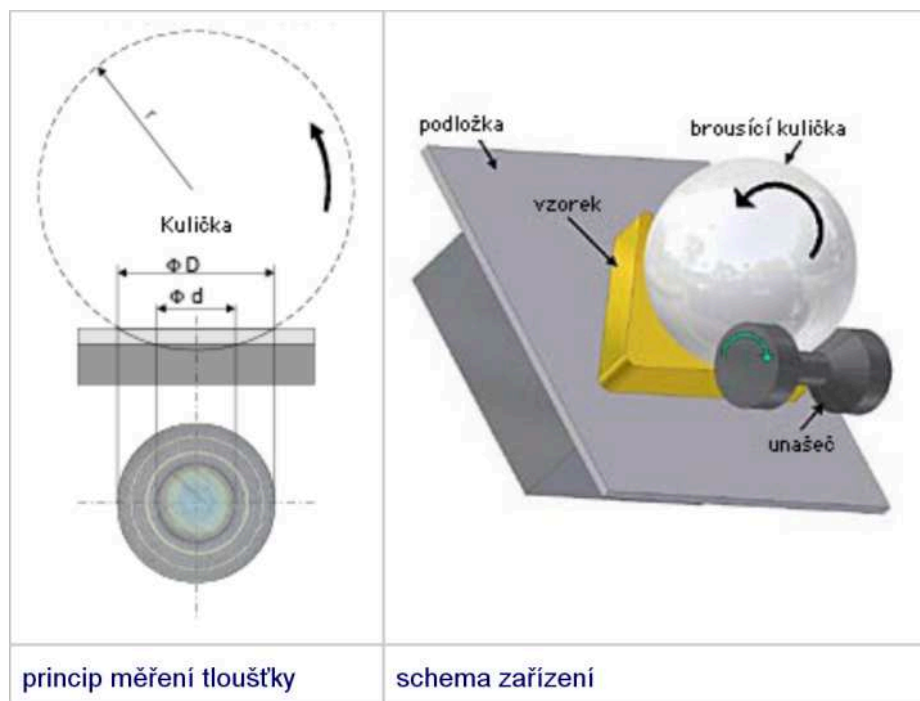


Obr. 6.3 - Schéma procesu iontového plátování. [13]

7 ZKOUŠENÉ VLASTNOSTI POVLAKU

7.1 Tloušťka povlaku

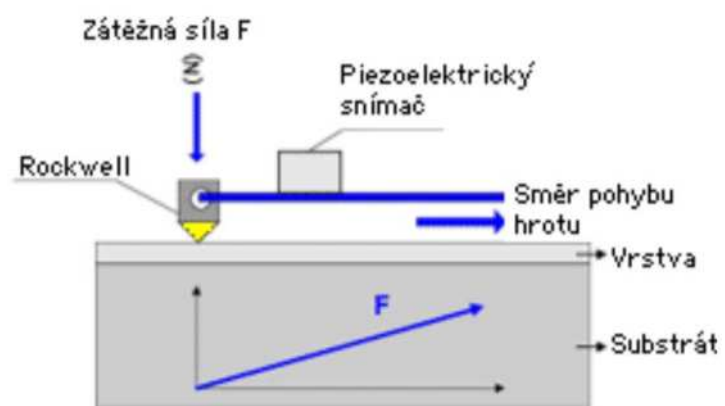
Pro měření tloušťky vrstvy se využívá zařízení kalotest. Princip měření je následující: pomocí otáčející se leštěné kuličky, na kterou se nanese brusivo (diamantová pasta), dochází k proleštění jak nanesené vrstvy, tak i tenké podpovrchové vrstvy. Ze znalosti průměru kuličky a mikroskopem změřených průměrů kulových vrchlíků je možné jednoduchým výpočtem stanovit tloušťku nanesené vrstvy. Toto měření je z důvodů vyšší přesnosti vhodné provádět na vyleštěných etalonech. [14]



Obr. 7.1 – Princip a schéma měření tloušťky. [14]

7.2 Adheze

Adheze je vyhodnocování přilnavosti vrstev k povlakovanému nástroji. Pro měření adheze se používá Scratch test. U vyhodnocení tohoto testu se používá princip, kde se postupně zvyšují zátěžové síly na diamantový Rockwellův hrot a současně se posouvá špička po měřené vrstvě. Na běžnou velikost přilnavosti se používá zátěžová síla v rozsahu 20 - 120 N. U měření vrstvy je detekována akustická emise, která se mění při odtržení vrstvy a to koresponduje s určitou hodnotou v N. Kritická hodnota, kdy dochází k odtržení vrstvy, se označuje adheze vrstvy. [14]



Obr. 7.2 – Princip měření vrypové zkoušky. [14]

8 METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

V experimentální části práce se nejdříve řešilo, jaké zkoušky použít pro zjištění nejlepších vlastností povlaku proti otěruvzdornosti.

Už na začátku práce se vědělo, že povlaky, které budou testovány, a tím u nich zjišťována kvalita vlastností, jsou následující:

- Černění
- Niklování
- PVD povlak

Zásluhou těchto poznatků a předešlých vědomostí o vlastnostech povlaku byly pro experimentální část vybrány následující zkoušky:

Pro zjištění adheze povlaku:

- Zkouška vrypem – Scratch test
- Zkouška vpichy na Rockwellově tvrdoměru

Pro zjištění odolnosti proti opotřebení:

- Metoda kalotest

Pro ověření tvrdosti základního substrátu:

- Zkouška tvrdosti dle Rockwella (HRC)

8.1 Příprava experimentálních vzorků

Po ujasnění naplánovaných zkoušek se nechaly vyrobit vzorky vhodné svým tvarem, rozměrem a druhem materiálu. Tyto vzorky musely být vhodné pro všechny plánované zkoušky. Tvar a rozměry mají všechny vzorky shodné. Jedná se o kruhový polotovar o průměru 29 mm, tloušťce 5 mm a s technologickým otvorem o průměru 3 mm.

Vzorky byly vyrobeny z oceli 16 343 (ČSN 416343). Jedná se o ocel s vysokou prokalitelností, pro vysoce namáhané strojní díly. V zušlechtěném stavu má velmi příznivý poměr pevnosti k mezi kluzu a vysokou houževnatost. Vysoká houževnatost brzdí šíření únavových trhlin. Ocel se proto vyznačuje vysokými hodnotami meze únavy při střídavém a kombinovaném způsobu namáhání. Není náchylná k popouštěcí křehkosti. [15]

Tab.8.1 - Chemické složení oceli 16 343 [15]

Chemické složení oceli 16 343 [%]							
C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S
0,32 - 0,4	0,5 – 0,8	0,15 - 0,4	1,3 – 1,7	1,3 – 1,7	0,2 - 0,3	0 - 0,035	0 – 0,035

8.2 Povlaky vzorků

Na vzorek č. 1 byla aplikována technologie chemického niklování se středním obsahem fosforu (6 – 10 % P) s tloušťkou povlaku 5 – 7 μm a tvrdostí po pokovení 570 – 660 HV.

Vzorek č. 2 byl také povlakován technologií bezproudého niklování se středním obsahem fosforu s tloušťkou povlaku 5 – 7 μm . Následně byl vzorek vytvrzen v peci při teplotě 300 °C. Vytvrzením se zvýšila tvrdost až na 1000 HV.

Vzorek č. 3 byl povlakován metodou PVD a to technologií vakuového napařování pomocí nízkonapěťového oblouku. Na vzorek byl nanesen povlak CrAlSiN s obchodním názvem Alwin. Tloušťka povlaku byla 2 – 4,5 μm .

Vzorek č. 4 byl načerněn a to za použití technologie Blackfast. Tloušťka povlaku byla 3 – 5 μm .

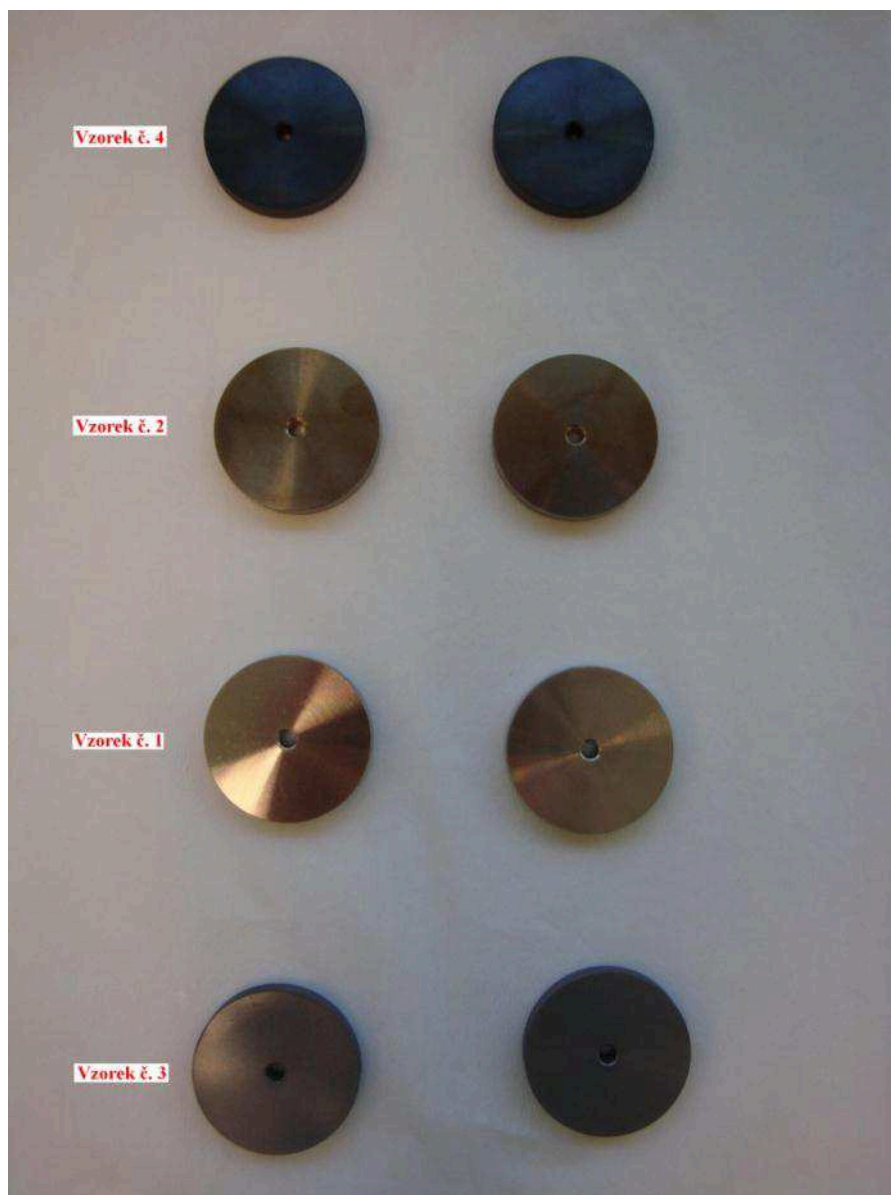
Vzorky byly obráběny na soustruhu, nebyly broušeny (leštěny) z důvodů docílení skutečné drsnosti jako na tělesech vrtáků. Drsnost byla měřena pomocí drsnoměru HOMMEL-ETAMIC W5. Naměřené hodnoty byly prakticky stejné, po zprůměrování vyšly následující výsledky:

Drsnost $R_a = 0,746 \mu\text{m}$

$R_z = 3,429 \mu\text{m}$

Tab. 8.2 – Seznam vzorků a jejich povlaky.

Číslo	Povlak
1	Nikl (středofosfor)
2	Nikl (středofosfor + vytvrzení)
3	PVD (povlak Alwin)
4	Černění



Obr. 8.1 – Vyrobené vzorky, které byly použity k provedení zkoušek.

9 POROVNÁNÍ POVLAKŮ PROSTŘEDNICTVÍM ZKOUŠEK

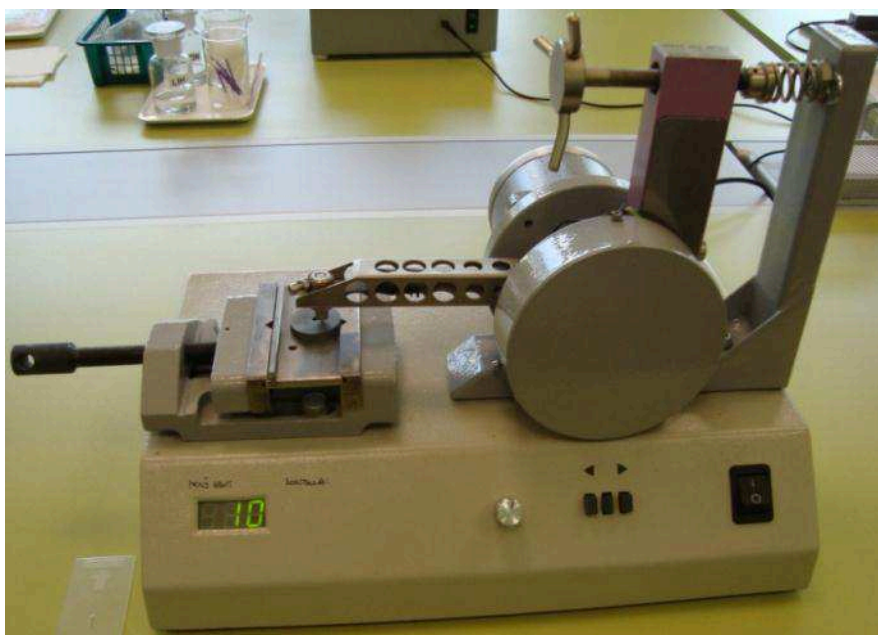
Veškeré zkoušky byly uskutečněny ve společnosti SHM Šumperk.

9.1 Vrypová zkouška - Scratch test

Jak již bylo zmíněno v kapitole 7.2, Scratch test se využívá pro zjištění adheze povlaku. Měření bylo prováděno dle platné normy ČSN EN ISO 1518.

9.1.1 Postup měření

Po zapnutí Scratch testeru a přejetí diamantového kužele (vnikající těleso Rockwell „C“, které splňuje náležitosti normy ČSN EN ISO 6508-2) do nulového bodu byl usazen vzorek do správné pozice pro zahájení vrypu. U všech vzorků bylo nastaveno stejné zatížení, a to od 10 N (začátek vrypu) do 80 N (konec vrypu). Při dotyku hrotu kužele se vzorkem bylo ručně nastaveno začáteční zatížení 10 N, a poté byl spuštěn tester. Během několika desítek sekund udělal hrot automaticky rýhu do zatížení 80 N. Při zhotovení vrypu, bylo důležité neopírat se o stůl, na kterém byl Scratch tester umístěn nebo nějakým jiným způsobem znehodnotit přesnost zkoušky. Po dokončení vrypu bylo ručně uvolněno zatížení, hrot přešel zpátky do nulového bodu a byl vyjmut vzorek. Zkouška byla opakována pro všechny zbylé vzorky. Během měření se pracovalo velmi opatrně, především kvůli křehkosti diamantového kužele.



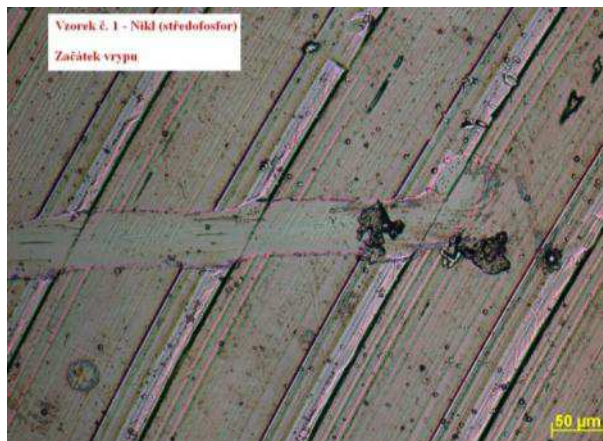
Obr. 9.1 - Scratch tester firmy SHM.

9.1.2 Vyhodnocení zkoušky

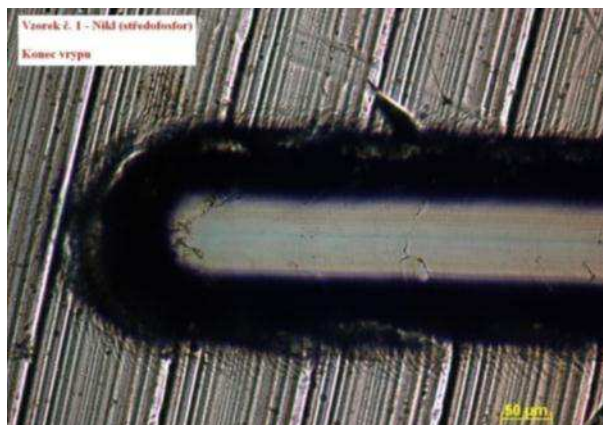
Po vykonání samostatné zkoušky byl pro vyhodnocení naměřených výsledků použit optický mikroskop. Výsledky byly zpracovány v programu LUCIA.

Vzorek č.1 – Nikl (středofosfor):

Z obrázků vrypu je vidět, že hrot nepronikl celou vrstvou. Substrát zůstal nedotčen i na konci vrypu při 80 N. Vrstva má dobrou adhezi k substrátu. Vrstva je pružná, při zatížení a prohnutí substrátu se neutrhla.



Obr. 9.2 - Vzorek č. 1 – Nikl (středofosfor) – Začátek vrypu (10 N).

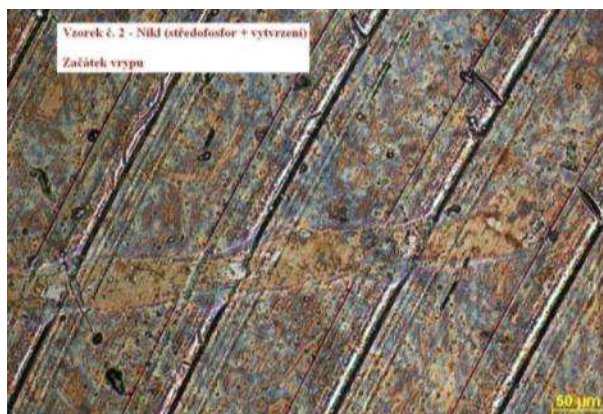


Obr. 9.3 - Vzorek č. 1 – Nikl (středofosfor) – Konec vrypu (80 N).

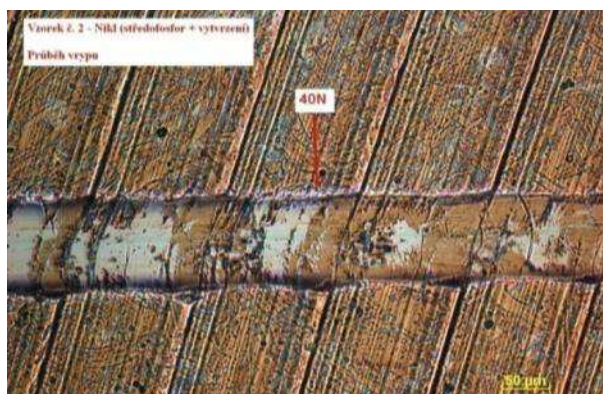
Vzorek č.2 - Nikl (středofosfor + vytvrzení):

Jelikož vzorek nebyl vytvrzen ve vakuové peci, ale pouze v obyčejné, vznikla na povrchu vzorku oxidická vrstva. Ta se při 40 N začala odlupovat a od 60 N se hrot dostal

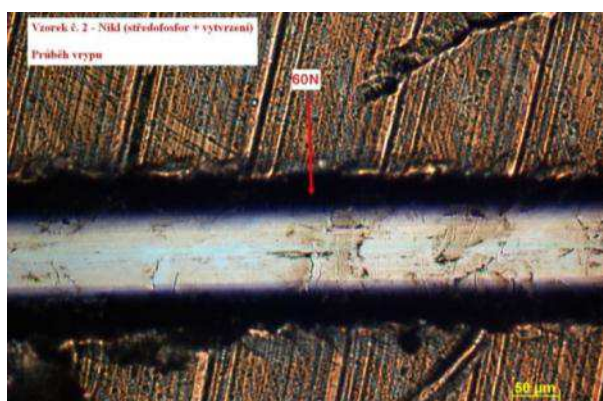
pod oxidickou vrstvou. Pod touto vrstvou je původní povlak, který nezoxidoval (nikl – středofosfor). Ani na konci hrot nepronikl původním povlakem jako v případě vzorku č. 1.



Obr. 9.4 - Vzorek č. 2 – Nikl (středofosfor + vytvrzení) – Začátek vrypu (10 N).



Obr. 9.5 - Vzorek č. 2 – Nikl (středofosfor + vytvrzení) – Průběh vrypu (40 N).



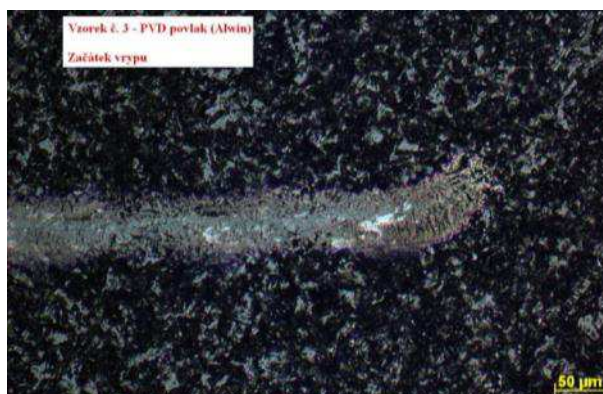
Obr. 9.6 - Vzorek č. 2 – Nikl (středofosfor + vytvrzení) – Průběh vrypu (60 N).



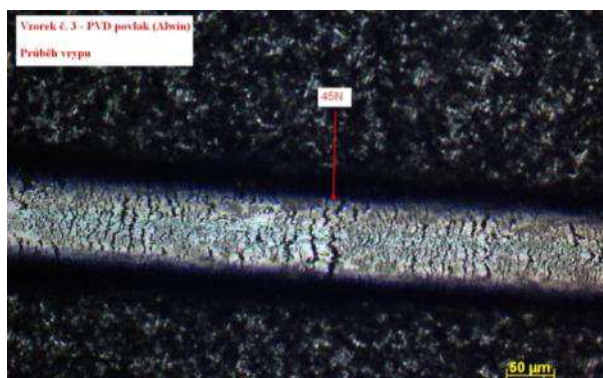
Obr. 9.7 - Vzorek č. 2 – Nikl (středofosfor + vytvrzení) – Konec vrypu (80 N).

Vzorek č. 3 – PVD povlak (Alwin):

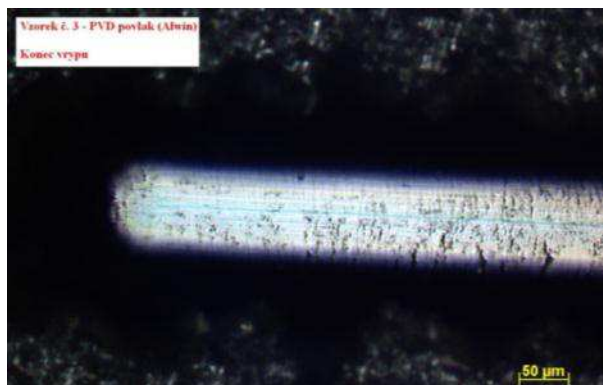
Jde vidět, že do 45 N povlak odolával hrotu. Od 45 N se začal ve vrypu odhalovat substrát. Zbytky povlaku jsou sice vidět až do konce (80 N), ale hrot povlakem projel. PVD povlak je křehčí, při zatížení a prohnutí substrátu začal praskat, proto se odlupuje.



Obr. 9.8 - Vzorek č. 3 – PVD povlak (Alwin) – Začátek vrypu (10 N).



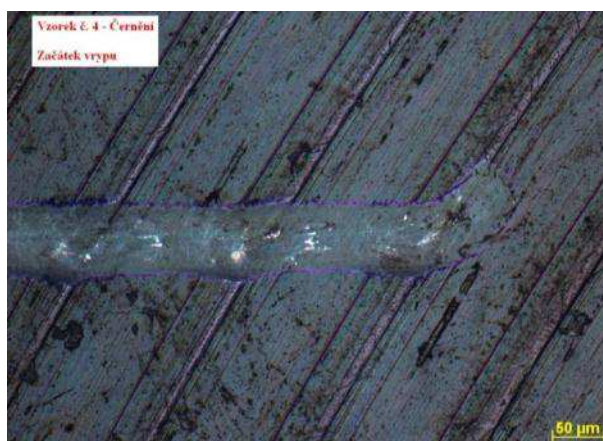
Obr. 9.9 - Vzorek č. 3 – PVD povlak (Alwin) – Průběh vrypu (45 N).



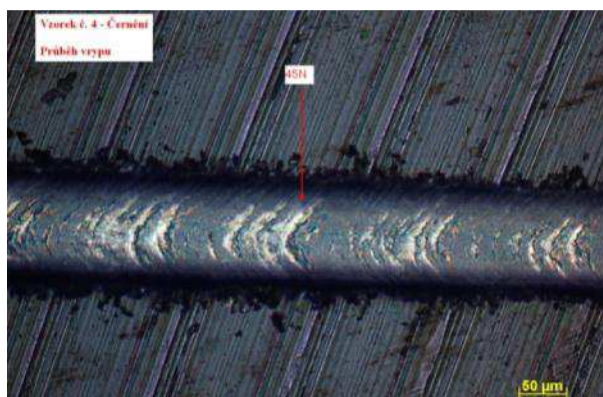
Obr. 9.10 - Vzorek č. 3 – PVD povlak (Alwin) – Konec vrypu (80 N).

Vzorek č. 4 – Černění:

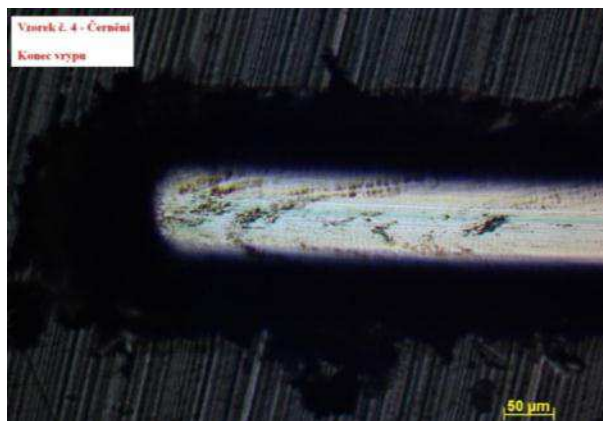
Černění je difuzní vrstvu, která do 45 N odolávala. Hrot začal pronikat pod vrstvu od 45 N. Na konci vrypu (80N) byl hrot pod difuzní vrstvou na substrátu.



Obr. 9.11 - Vzorek č. 4 – Černění – Začátek vrypu (10 N).



Obr. 9.12 - Vzorek č. 4 – Černění – Průběh vrypu (45 N).



Obr. 9.13 - Vzorek č. 4 – Černění – Konec vrypu (80 N).

9.1.3 Závěr vrypové zkoušky - Scratch test

Tato dynamická zkouška pro zjištění adheze povlaku nejlépe dopadla pro niklové povlaky, což bylo způsobeno jednak větší tloušťkou povlaku a také vyšší pružností povlaku při zatížení. Vrypové zkoušce nejhůře odolával vzorek s černěným povlakem.

9.2 Zkouška vpichy na Rockwellově tvrdoměru

Jedná se o nenormalizovanou zkoušku, kterou díky svým dlouholetým zkušenostem si vytvořili pro vlastní potřebu ve firmě SHM. Zkouškou se zjišťuje adheze povlaku. Zkouška je téměř totožná s tzv. Mercedes testem, s výjimkou toho, že firma SHM si vytvořila vlastní hodnotící tabulku (viz. příloha č. I.), díky které vyhodnocuje výsledky zkoušky.

Jelikož se při této zkoušce pracuje s Rockwellovým tvrdoměrem, byla zároveň ověřena tvrdost substrátu u každého vzorku dle Rockwella (HRC). Měření probíhalo dle platné normy ČSN EN ISO 6508-1.

9.2.1 Postup měření

Zkouška byla provedena na Rockwellovém tvrdoměru se zatížením 150 kg. Jako první byly provedeny vpichy pro zjištění adheze. Vzorek byl umístěn na pracovní plochu tvrdoměru a ke vzorku byl přiblížen diamantový kužel. Následně byl jedním tahem zatížen vzorek na předběžnou sílu. V dalším kroku se spustila zátěž po dobu 6 sekund, po této době byla zátěž odlehčena. Nakonec byla uvolněna i předběžná síla. Na každém vzorku byly provedeny 3 vpichy, pro přesnější vyhodnocení zkoušky.

Tvrдость dle Rockwella (HRC) byla měřena shodným způsobem, s rozdílem vynulování stupnice před spuštěním zátěže, z důvodu lepšího odečtu naměřené hodnoty tvrdosti. Stejným způsobem byla měřena tvrdost u všech vzorků.



Obr. 9.14 - Rockwellův tvrdoměr firmy SHM.

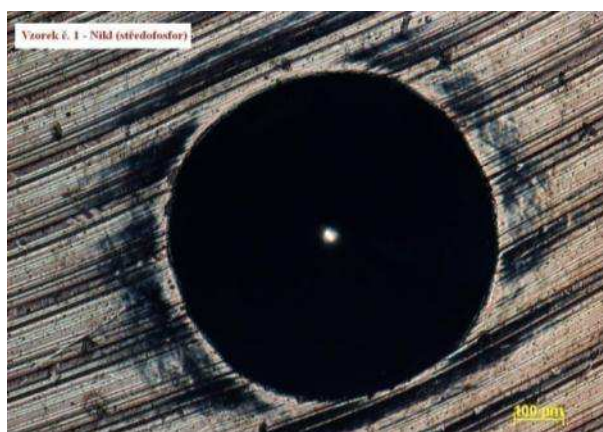
9.2.2 Vyhodnocení zkoušky

Po zkoušce byly vzorky opět vyhodnoceny optickým mikroskopem. Výsledky byly zpracovány dle hodnotící tabulky firmy SHM (viz. příloha č. I.).

Vzorek č. 1 – Nikl (středofosfor):

Na obrázku lze vidět ovlivnění plastickou deformací v okolí vpichu, ale povlak drží dobře. Hodnocení dle tabulky SHM je HF1.

Tvrдость substrátu byla naměřena 39 HRC.

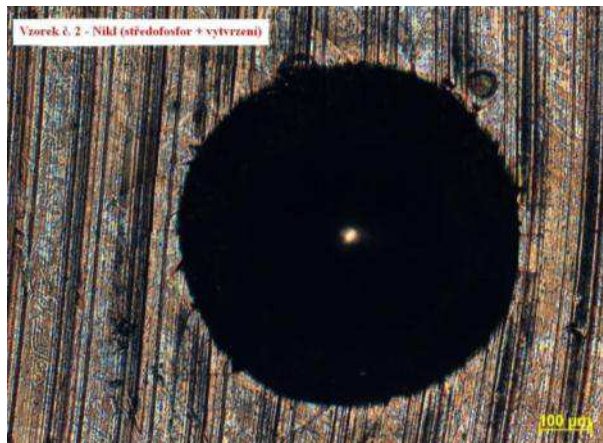


Obr. 9.15 - Vzorek č. 1 – Nikl (středofosfor) – Vpich pro zjištění adheze povlaku.

Vzorek č. 2 - Nikl (středofosfor + vytvrzení):

U niklu s oxidickou vrstvou na povrchu je vidět, že v oblasti plastické deformace substrátu se objevily trhlinky v oxidické vrstvě, ale nedošlo k odloupenutí. Hodnocení dle tabulky SHM je HF1.

Tvrdost substrátu je 38 HRC.

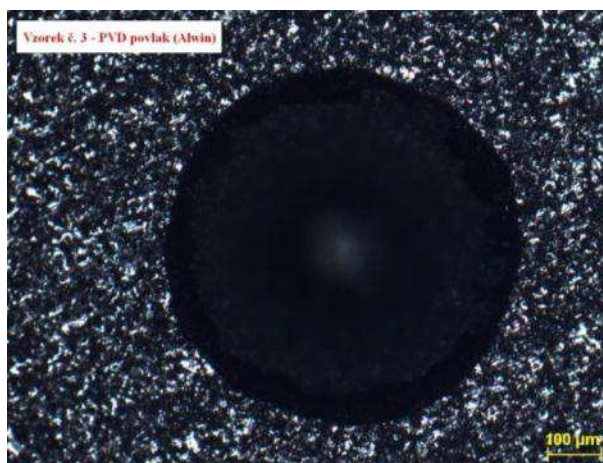


Obr. 9.16 - Vzorek č. 2 – Nikl (středofosfor + vytvrzení) – Vpich pro zjištění adheze povlaku.

Vzorek č. 3 – PVD povlak (Alwin):

Vidíme, že okraj vpichu je bez jakýchkoliv trhlin a porušení. Povlak je naprosto v pořádku, vrstva má výbornou adhezi k substrátu. Hodnocení dle tabulky SHM je HF0.

Tvrdost substrátu je 40 HRC.

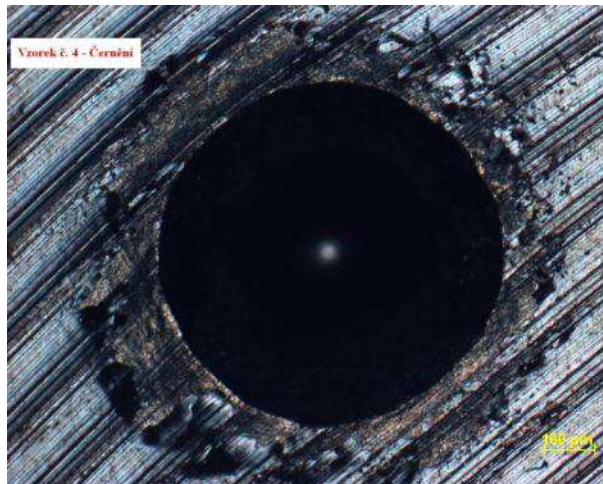


Obr. 9.17 - Vzorek č. 3 – PVD povlak (Alwin) – Vpich pro zjištění adheze povlaku.

Vzorek č. 4 – Černění:

Vrstva popraskala a odpadla téměř v celé oblasti plastické deformace po vpichu. Hodnocení dle tabulky SHM je HF6.

Tvrdost substrátu je 40 HRC.



Obr. 9.18 - Vzorek č. 4 – Černění – Vpich pro zjištění adheze povlaku.

9.2.3 Závěr zkoušky vpichy na Rockwellově tvrdoměru

Při této statické zkoušce adheze dopadl nejlépe vzorek s PVD povlakem. Velmi dobré výsledky měli také niklové povlaky. U vzorku s černěným povlakem došlo k plošnému odloupenutí v celé oblasti plastické deformace, černěný povlak dopadl při této zkoušce nejhůře.

Při měření tvrdosti se ukázalo, že žádná povrchová úprava nezměnila tvrdost substrátu pod povlakem.

9.3 Zkouška odolnosti proti opotřebení - Kalotest

Metoda kalotest je velmi jednoduchá a přesná metoda jak zjistit tloušťku naneseného povlaku, ale z důvodů velké drsnosti vzorků bylo nutné tuto metodu upravit pro námi požadované podmínky. Pomocí kalotestu byla zjišťována hloubka probroušení povlaku za zvolenou dobu.

9.3.1 Postup měření

Na každém vzorku místo původní jedné kaloty bylo nutné udělat dvě kaloty. První kalota byla broušena při 500 ot/min po dobu 90 sekund. Druhá kalota na vzorku byla broušena při stejných otáčkách po dobu 180 sekund. Žádné brusivo nebylo použito, pouze voda kvůli chlazení a odplavování nečistot (odbroušených pilin), která se aplikovala při rozběhu na ocelovou kuličku o průměru 34,9 mm.



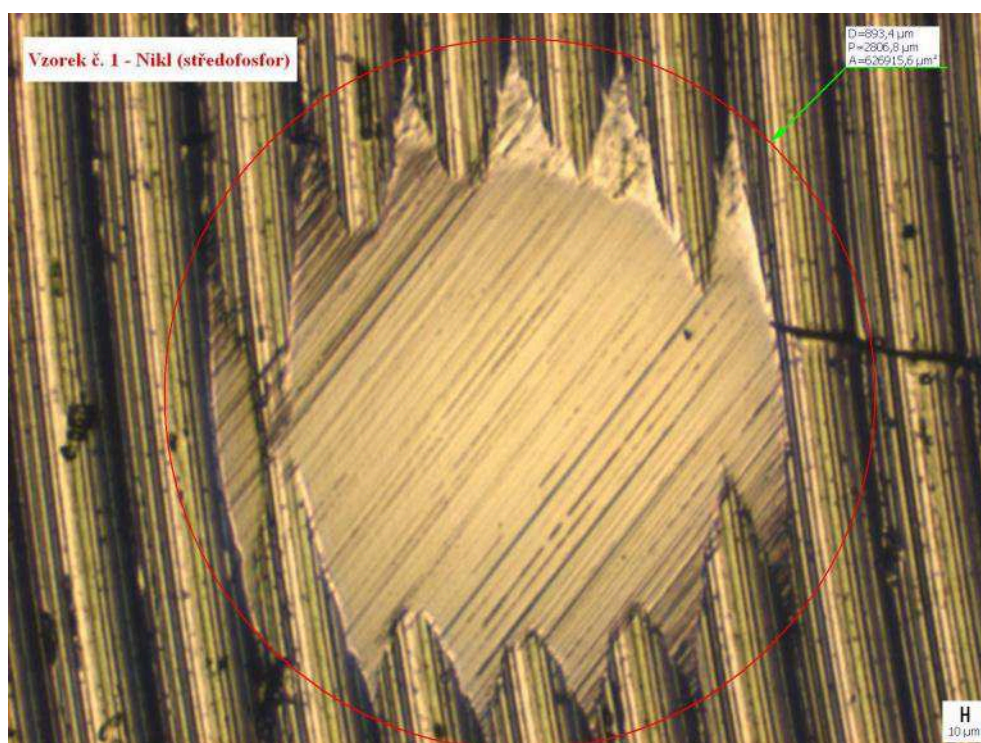
Obr. 9.19 - Přístroj Kalotest firmy SHM.

9.3.2 Vyhodnocení zkoušky

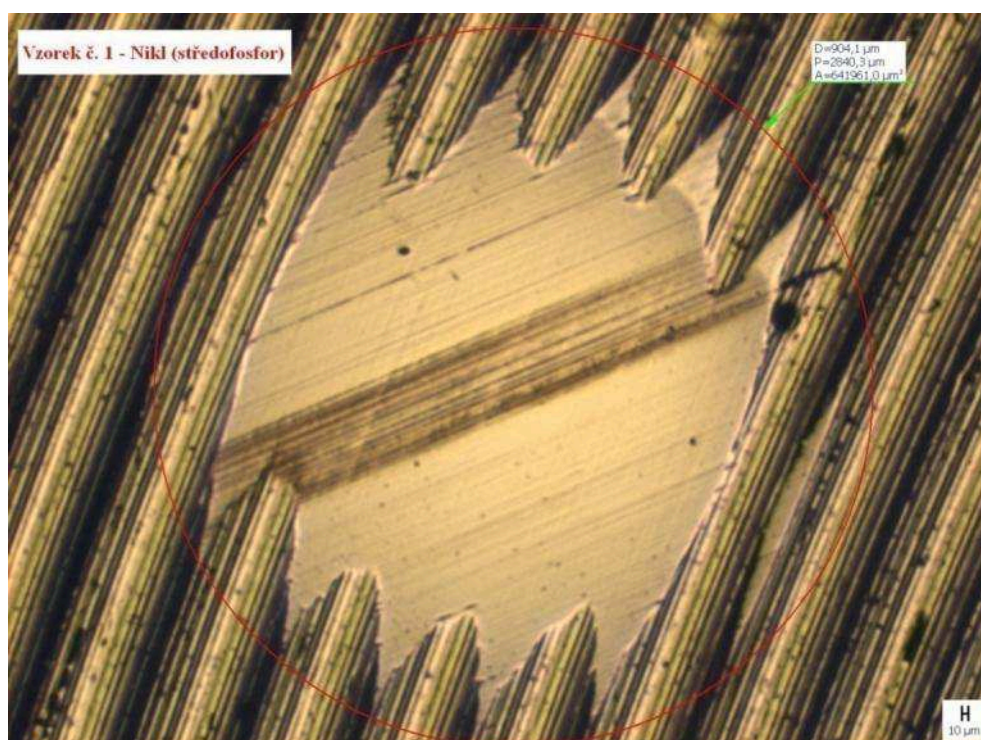
Výsledkem zkoušky jsou dvě odlišné kaloty na každém vzorku. Za použití optického mikroskopu a programu LUCIA byla každá vybroušená kalota na vzorcích proložena kružnicí. Pomocí naměřených průměrů kružnic byly spočítány vybroušené hloubky kalot a následně výsledné rozdíly těchto hloubek. Naměřené hodnoty byly zaznamenány v tabulce 9.1.

Vzorek č. 1 – Nikl (středofosfor):

Z obrázku lze vidět, že na tomto vzorku se ocelová kulička povlakem neprobrousila.



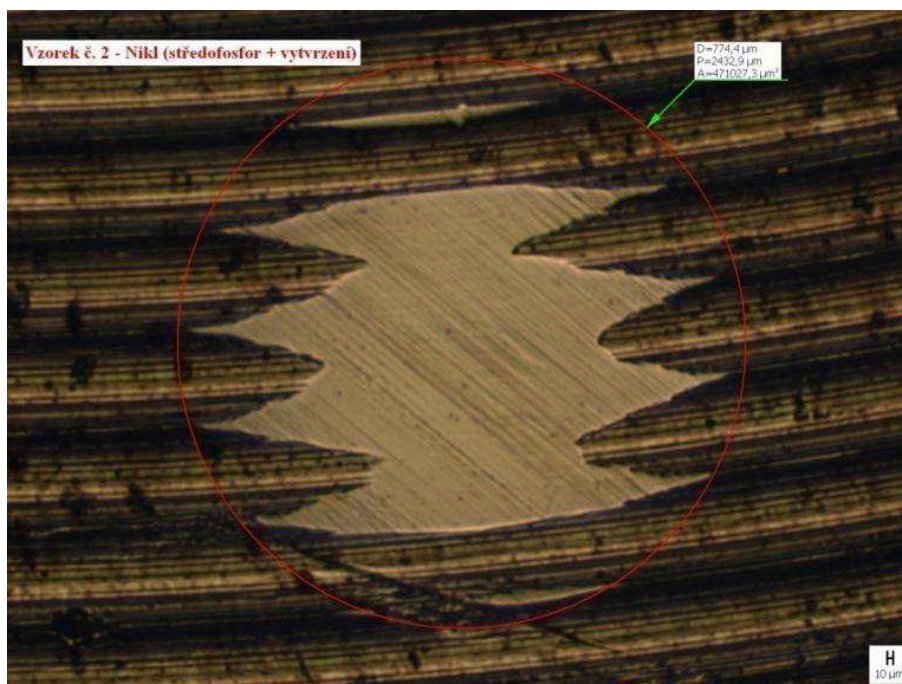
Obr. 9.20 - Vzorek č. 1 – Nikl (středofosfor) – Menší kalota s kružnicí o \varnothing 893,4 μm .



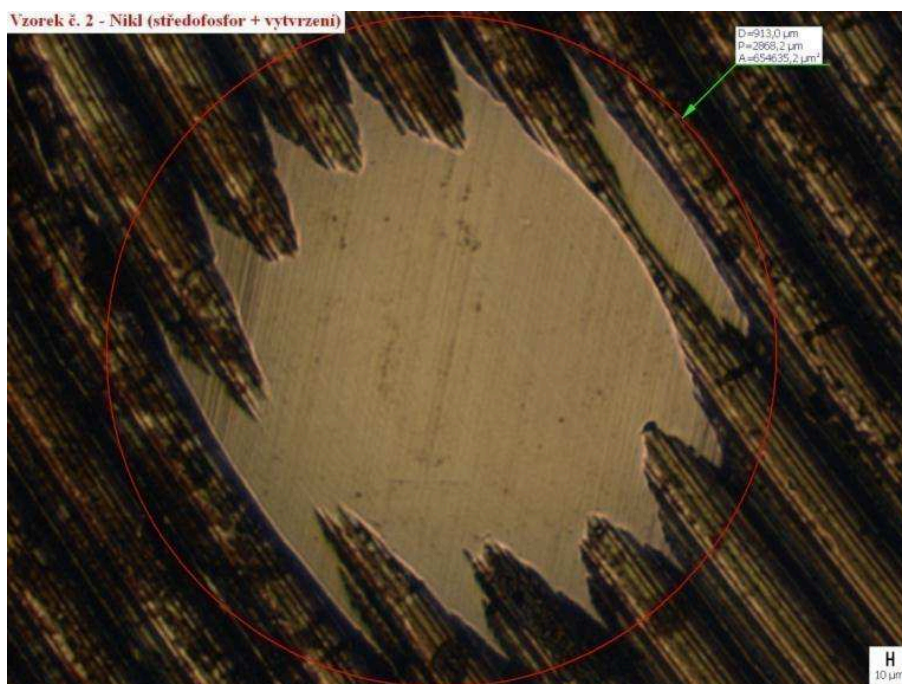
Obr. 9.21 - Vzorek č. 1 – Nikl (středofosfor) – Větší kalota s kružnicí o \varnothing 904,1 μm .

Vzorek č. 2 - Nikl (středofosfor + vytvrzení):

Z následujícího obrázku je patrné, že ocelová kulička se neprobrousila na substrát povlaku.



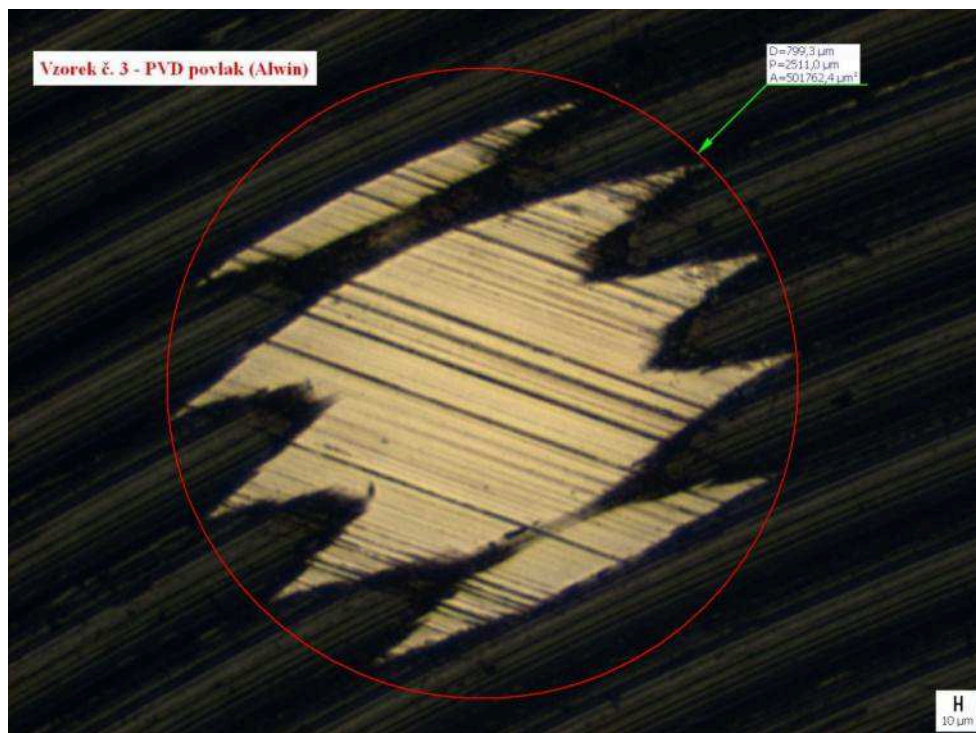
Obr. 9.22 Vzorek č. 2 – Nikl (středofosfor + vytvrzení) – Menší kalota s kružnicí o \varnothing 774,4 μm .



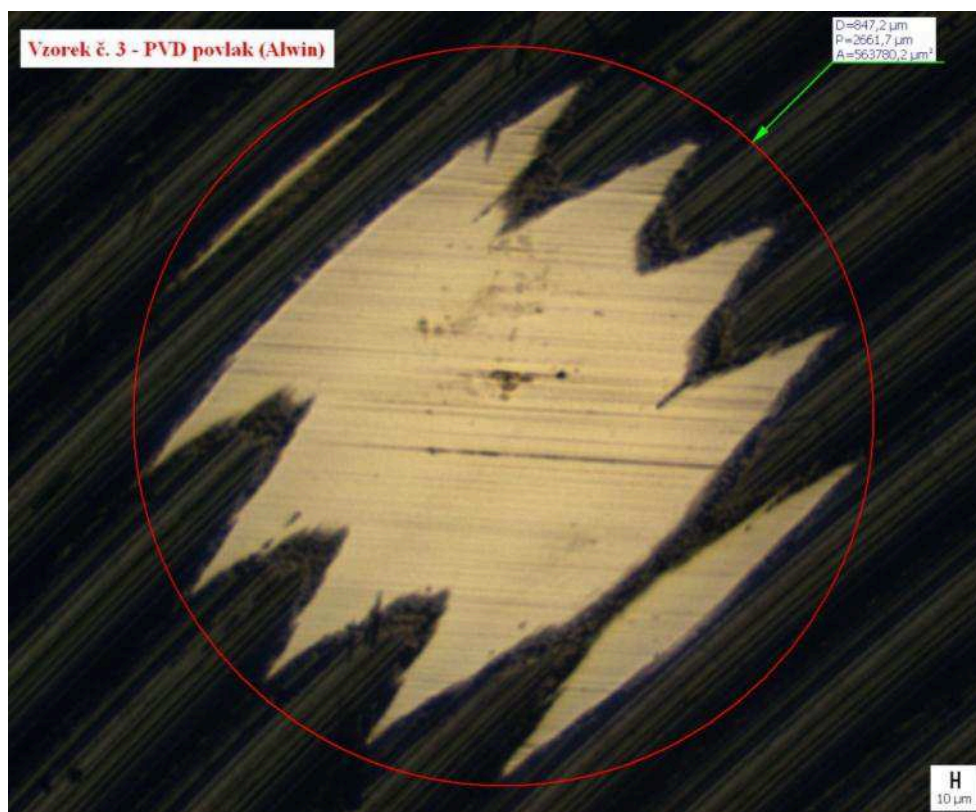
Obr. 9.23 Vzorek č. 2 – Nikl (středofosfor + vytvrzení) – Větší kalota s kružnicí o \varnothing 913,0 μm .

Vzorek č. 3 – PVD povlak (Alwin):

Na obrázku vidíme, že u PVD povlaku se ocelová kulička probrousila na substrát.



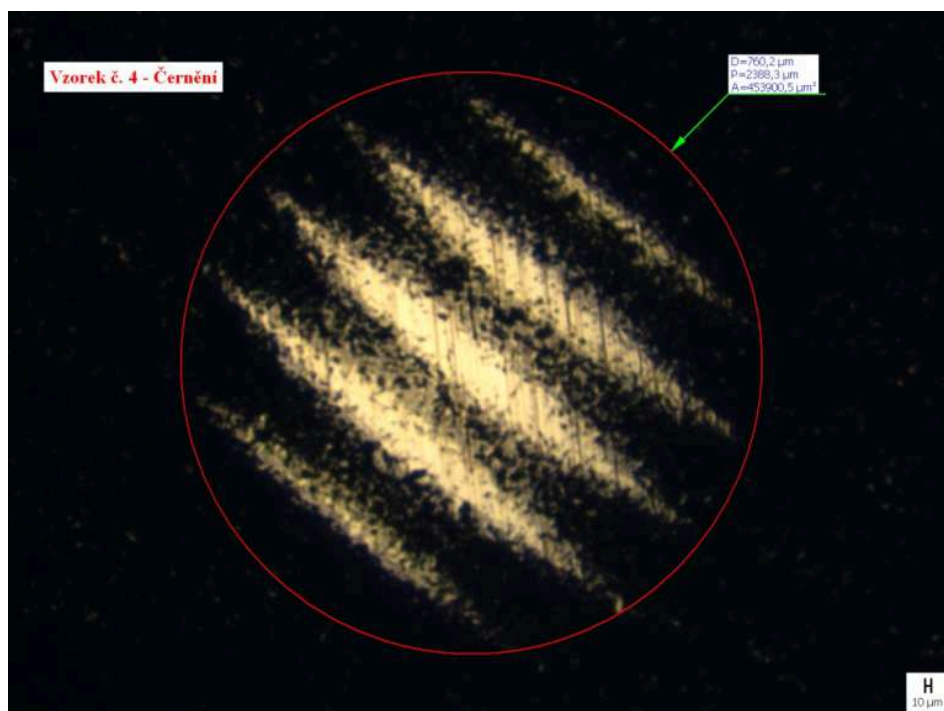
Obr. 9.24 Vzorek č. 3 – PVD povlak (Alwin) – Menší kalota s kružnicí o \varnothing 799,3 μm .



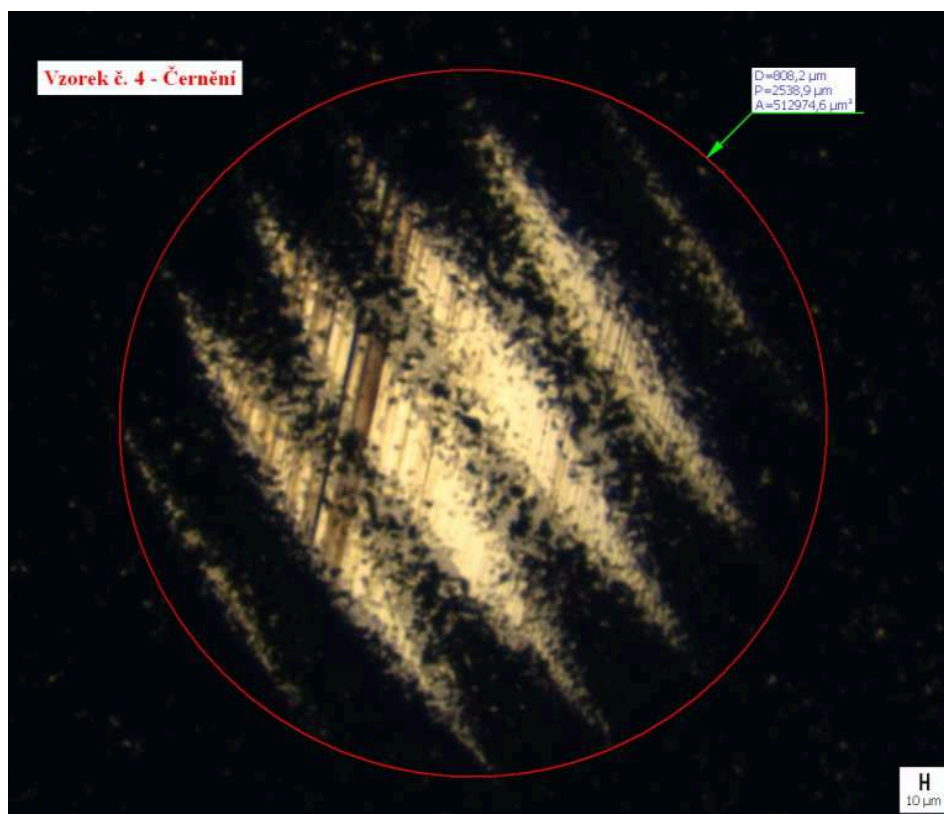
Obr. 9.25 Vzorek č. 3 – PVD povlak (Alwin) – Větší kalota s kružnicí o \varnothing 847,2 μm .

Vzorek č. 4 – Černění:

Načerněný vzorek byl probroušen až na substrát.



Obr. 9.26 Vzorek č. 4 – Černění – Menší kalota s kružnicí o \varnothing 760,2 µm.



Obr. 9.27 Vzorek č. 4 – Černění – Větší kalota s kružnicí o \varnothing 808,2 µm.

Tab. 9.1 Naměřené a dopočítané hodnoty získané při metodě kalotest.

Vzorek	90 sekund $\varnothing D_1$ [μm]	180 sekund $\varnothing D_2$ [μm]	Rozdíl \varnothing $\varnothing D_2 - \varnothing D_1$ [μm]	90 sekund Hloubka t_1 [μm]	180 sekund Hloubka t_2 [μm]	Rozdíl hloubek t [μm]
1	893,4	904,1	10,7	5,7184	5,8563	0,1378
2	774,4	913	138,6	4,2963	5,9721	1,6758
3	799,3	847,2	47,9	4,5771	5,1422	0,5651
4	760,2	808,2	48	4,1402	4,6796	0,5394

Příklad výpočtu:

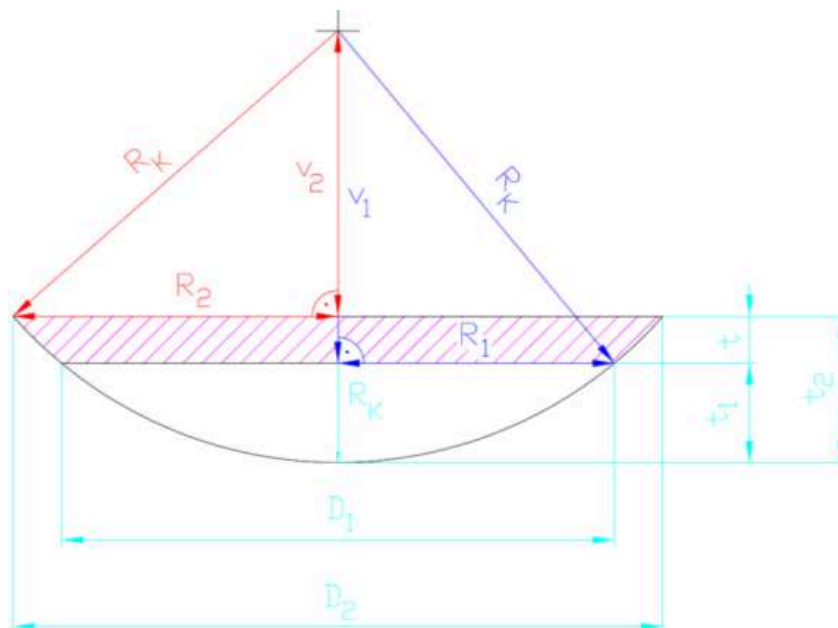
$$v_1 = \sqrt{R_K^2 - R_1^2}$$

$$v_2 = \sqrt{R_K^2 - R_2^2}$$

$$t_1 = R_K - v_1$$

$$t_2 = R_K - v_2$$

$$t = t_2 - t_1$$



$R_K = 17\,450\,\mu\text{m} \Rightarrow$ poloměr ocelové kuličky

t_1 = hloubka probroušení první kaloty (90 s)

t_2 = hloubka probroušení druhé kaloty (180 s)

t = rozdíl hloubek t_1 a t_2

9.3.3 Shrnutí zkoušky odolnosti proti opotřebení - Kalotest

Z tabulky 9.1 je zřejmé, že nejmenší hloubka probroušení byla dosažena u černěného vzorku. Nejvyšší hodnoty probroušení měly niklové povlaky, konkrétně vytvrzený nikl.

Největší nárůst mezi prvním (90 s) a druhým (180 s) měřením měl vytvrzený nikl, naopak nejmenší nárůst zaznamenal obyčejný nikl.

Po prvním měření (90 s) byly naměřeny nejmenší hloubky u černění a tvrzeného niklu. Největší hloubka byla naměřena u niklu bez vytvrzení.

Největší rozdíl vybroušené hloubky byl naměřen u vytvrzeného niklu. Vytvrzená vrstva niklu bránila proniknutí kuličky do větší hloubky a po probroušení této oxidické vrstvy působily tvrdé částčky jako abrazivo (brusivo) a zvýšily úběr materiálu.

Nejmenší rozdíl hloubek byl naměřen u obyčejného niklu. Je to způsobeno tím, že povlak je dostatečně pružný při zátěži. Odbroušené částčky mají stejnou pevnost jako povlak a nepůsobí tak abrazivně jako u vytvrzeného niklu.

Obdobně to je i u zbývajících dvou povlaků (PVD a černění). U nich došlo k probroušení až na substrát, který je měkčí než povlak, a proto došlo k většímu úběru, než u niklových vzorků, které se na substrát neprobrousily.

Z výsledků zkoušky nelze jednoznačně určit, který povlak je nejvhodnější.

10 CELKOVÉ SHRUTÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

Při zkoušce vrypem dobře odolávaly oba niklové povlaky. Zkouška vpichy na Rockwellově tvrdoměru nejlépe dopadla pro PVD povlak, ale niklové povlaky taktéž zaznamenaly dobré hodnoty. Shrňme-li výsledky těchto dvou zkoušek adheze, tak nejlépe si vedly právě nikly, a to jak obyčejný středofosforový nikl, tak i středofosforový nikl s vytvrzením.

U zkoušky odolnosti proti opotřebení – kalotestu nelze na základě naměřených hodnot jednoznačně doporučit druh povlaku. Zkouška pomocí kalotestu nejpřesněji simuluje reálné podmínky provozu, ale je zapotřebí tuto zkoušku vylepšit a dopracovat pro získání přesných a očividných výsledků.

Z testovaných povlaků se jeví jako nejvhodnější řešení obecně pro tělesa nástrojů niklové povlaky, které mají dobré vlastnosti jak korozivzdorné, otěruvzdorné a také jsou cenově výhodnější jak PVD povlaky. Pro daná tělesa vrtáků se doporučuje tvrzený nikl, je sice dražší oproti niklu bez vytvrzení, zato však déle odolává působení abraziva.

11 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Černěné a niklové povlaky jsou cenově na stejné úrovni. Cena za povlakovanou součást se pohybuje v desítkách korun. Samozřejmě záleží na velikosti součásti, protože cena je přímo úměrná velikosti povlakované ploše.

Niklový povlak, který se dále vytvrzuje, kvůli větší tvrdosti, je přibližně o 30 % dražší než nikl bez vytvrzení. Záleží na velikosti dávce, která se vkládá do vakuové pece vytvrdit, pec má totiž omezený objem a proto tak zvedá náklady na tento povlak. Čím víc místa v peci využijeme, tím se dostaneme na lepší cenu povlaku za kus.

Nejdražší danou metodou jsou PVD povlaky. Jejich cena se pohybuje v řádech sto korun na dílec, což znamená, že jsou přibližně 10 x dražší než černěné a niklové povlaky bez vytvrzení.

12 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na výběr a studium povlaků těles obráběcích nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami ve firmě Pramet Tools s.r.o. Cílem bakalářské práce bylo prostudovat současné povlaky a vybrat vhodné zástupce k provedení experimentální části práce. Následně vybrat vhodné zkoušky k ověření vlastností těchto povlaků. Z výsledků zkoušek zvolit vhodný povlak pro tělesa obráběcích nástrojů (obecně) a tělesa vrtáků.

Teoretická část práce se zabývala současnými metodami povlakování (černění, niklování a PVD metoda). Na základě těchto povlaků byly vyrobeny vzorky, které byly testovány pomocí zkoušek. Byly vybrány následující zkoušky: zkouška vrypem - Scratch test, zkouška vpichy na Rockwellově tvrdoměru a zkouška opotřebení metodou kalotest.

Jakmile bylo rozhodnuto, které zkoušky se budou provádět, nechaly se vyrobit zkušební vzorky, dle požadovaného tvaru a rozměrů. Vzorky byly povlakovány vybranými povlaky. Na vzorek č. 1 byl nanesen niklovým povlak, který byl aplikován chemickým niklováním se středním obsahem fosforu. Na vzorek č. 2 byl taktéž nanesen chemickým niklováním niklový povlak se středním obsahem fosforu, který se nechal dodatečně vytvrdit pro získání ještě větší tvrdosti, než u niklu bez vytvrzení. Vzorek č. 3 byl pokryt PVD povlakem CrAlSiN (Alwin), který byl zhotoven technologií vakuového napařování pomocí nízkonapětového oblouku. Vzorek č. 4 byl načerněn technologií Blackfast.

Adheze povlaků byla měřena dvojím způsobem. Dynamickou zkouškou na Scratch testu a statickou zkouškou na Rockwellově tvrdoměru. Nejlepší adhezi u zkoušky vrypem měli vzorky s niklovým povlakem a to jak vytvrzený nikl, tak i nikl bez vytvrzení.

Nejlepší přilnavost k povrchu u statické zkoušky vpichy na Rockwellově tvrdoměru měl vzorek s naneseným PVD povlakem, ale oba vzorky s nikly dopadli také velmi dobře.

Původní plánovaná zkouška pro zjištění tloušťky povlaku pomocí kalotestu byla upravena kvůli velké drsnosti vzorků. Nezjišťovala se tloušťka povlaku, ale rozdíl probroušených hloubek mezi první provedenou kalotou (90 s) a druhou (180 s) probroušení ocelové kuličky. Na základě naměřených hodnot z této zkoušky nebylo možné jednoznačně určit triumfální druh povlaku, protože u každého povlaku se našly výhody i nevýhody. Při dalších analýzách se doporučuje tuhle zkoušku zdokonalit.

Při celkovém zhodnocení všech zkoušek a s přihlédnutím na ekonomické zhodnocení byl jako nejvhodnější povlak obecně pro všechna tělesa obráběcích nástrojů (frézy, nože) vybrán středofosforový nikl bez vytvrzení a pro tělesa vrtáků byl zvolen středofosforový nikl s vytvrzením, který má ještě lepší otěruvzdorné vlastnosti.

Jelikož výsledky ze zkoušky otěruvzdornosti metodou kalotes nebyly jednoznačné, firma Pramet Tool s.r.o. bude i nadále pokračovat ve výzkumu těchto povlaků pro tělesa obráběcí nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami.

Na úplný závěr bych chtěl uvést, že vypracování této bakalářské práce mi přineslo spoustu nových zkušenostních hlavně po praktické stránce. Díky této práci jsem navštívil nové firmy, ve kterých jsem nikdy nebyl. Největší zkušenosti mi však přinesly prováděná měření a vyhodnocení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] *O společnosti* [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/o-spolecnosti.html>

[2] *Pramet Presentation including new structure*. Šumperk: Pramet Tools s.r.o., 2013. 23 s.

[3] Prof. Ing. Miroslav Mohyla, DrSc. Technologie povrchových úprav kovových materiálů. VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2006, 3. vydání

[4] *POVRCHY A JEJICH ÚPRAVY* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>

[5] Povrchové úpravy. [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.povrchoveupravy.cz/2005-02-clanek01.html>

[6] Alkalické černění ocelí. [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/alkalicke-cerneni-oceli.html>

[7] Černění oceli a litiny při pokojové teplotě [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.mdg-servis.cz/pict/fotogalerie/Blackfast_obrazky_cerneni/cerneni_pri_pokojove_teplote.pdf

[8] *Nové poznatky v technologii chemického niklování* [online]. Jablonec nad Nisou [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: http://www.atotech.com/data/cz/chemicky_nikl.pdf

[9] TROCHA TEORIE O CHEMICKÉM NIKLOVÁNÍ. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.brogal.cz/Home/chemicke-niklovani>

[10] PODJUKLOVÁ, J. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 1994, I. vydání. ISBN 80-7078-235-8.

[11] vakuotechnika [online]. 2005 [cit. 2013-05-19]. Stránky firmy Vakuotechnika
Dostupné z WWW: <http://www.vakuotechnika.cz/info_vna.html>

[12] ee.utep [online]. 2008 [cit. 2013-05-19]. Stránky University Texas
Dostupné z WWW:
<<http://wwwold.ece.utep.edu/research/webedl/cdte/Fabrication/index.htm>>

[13] OCJ [online]. 2004 [cit. 2013-05-19]. Stránky firmy Optical Coatings Japan
Dostupné z WWW: <http://www.ocj.co.jp/english/products/coat_t/coat_t.htm>

[14] *Technické informace o měření*. Šumperk: SHM, 2013. 8 s.

[15] Přehled vlastností oceli 34CrNiMo6. [online]. [cit. 2013-05-19]. Dostupné z:
[http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-](http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_34CrNiMo6)
[podpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_34CrNiMo6](http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_34CrNiMo6)

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. I. – Tabulka hodnocení výsledků vpichové zkoušky na Rockwellově tvrdoměru
firmy SHM Šumperk.

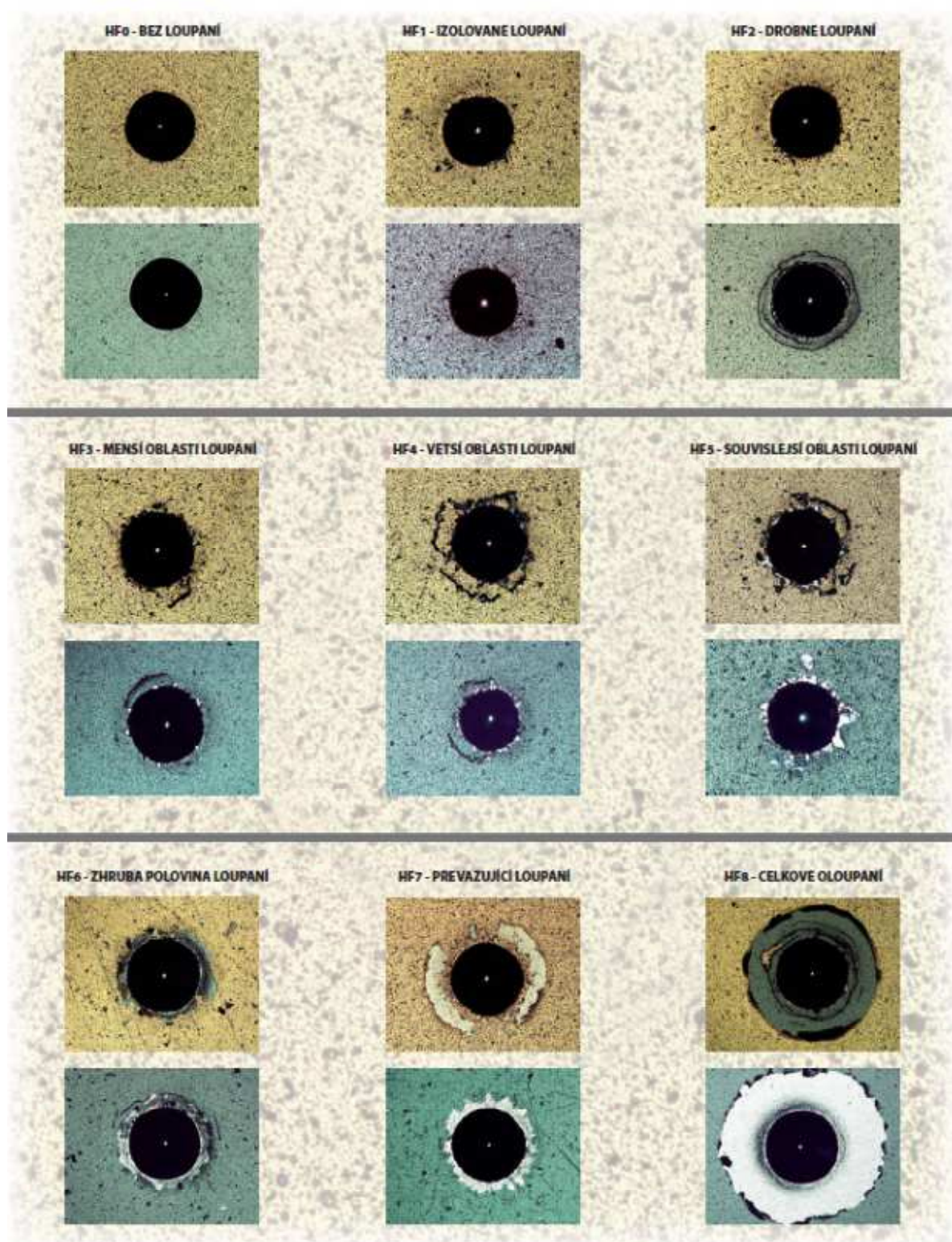
Poděkování:

Rád bych poděkoval lidem, kteří mi pomáhali při vypracování této bakalářské práce. Děkuji vedoucí mé práce paní doc. Jitce Podjuklové za pomoc a dobré vedení při práci a také paní Ing. Sylvii Kopaňákové za její rady a bezproblémovou asistenci při plnění mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Romanu Reindlovi, mému konzultantovi ve firmě Pramet Tools s.r.o., za jeho ochotu, cenné rady, připomínky a pomoc při zpracování této bakalářské práce.

Jakub Pospíšil

Příloha č. I.

SHM HODNOCENÍ ADHEZE



Obr. 1. - Tabulka hodnocení výsledků vpichové zkoušky na Rockwellově tvrdoměru firmy SHM Šumperk.